

Tarmo Wahlström

# Pituusleikkurin varustelumallin kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

28.2.2018

Tekijä Otsikko	Tarmo Wahlström Pituusleikkurin varustelumallin kehittäminen
Sivumäärä Aika	71 sivua 28.2.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotesuunnittelu
Ohjaajat	Pääsuunnitteluinsinööri Kari Susi Yliopettaja Jyrki Kullaa
<p>Insinöörityön tavoitteena oli kehittää pituusleikkurin varustelumallia ja laatia siihen tarvittavat varustelupiirustukset ja osaluettelot. Työn teetti Valmet Technologies Oy:n Järvenpään toimipiste, ja työ koski Valmetin OptiWin Drum two-drum base -pituusleikkuria. Insinöörityön alkupuolella käydään läpi pituusleikkurin toimintaan ja varustelusuunnitteluun liittyvien hydraulikka- ja pneumatiikkajärjestelmien teoriaa. Työn loppupuolella kerrotaan varustelusuunnitteluprosessista ja aikaansaaduista tuloksista.</p> <p>Varustelusuunnittelussa lähdettiin liikkeelle erään vanhemman leikkurimallin varusteluista, joita käytettiin pohjana uusille suunnitelmille. Ensimmäisessä vaiheessa mallinnettiin rullausosalle tulevat hydraulikkasyylinterit. Seuraavaksi tehtiin näiden hydraulikkasyylinterien päivitetyt varustelumallit ja -kuvat. Muutaman sylinterin varusteluihin kehitettiin uusia ratkaisuja aikaisemmissa toimituksissa havaittujen tai muuten ilmenneiden epäkohtien ja muutoksien takia. Lopuksi tehtiin rullaus- ja leikkausosan päivitetyt varustelumallit, piirustukset ja osaluettelot.</p> <p>Työn tuloksena saatiin ajantasaiset varustelukuvat pituusleikkurin rullaus- ja leikkausosille, joiden varustelumalleihin on tehty tarpeellinen kehitystyö esille tulleiden puutteiden korjaamiseksi. Työn tuloksia on tarkoitus käyttää tulevissa pituusleikkuriprojekteissa, joissa varustelukuvat toimivat työohjeena esikokoonpanossa ja osaluetteloita käytetään tarvittavien varusteluosien tilaamiseen.</p>	
Avainsanat	pituusleikkuri, varustelusuunnittelu, mallinnus, hydraulikka, pneumatiikka

Author Title	Tarmo Wahlström Development of a Winder Outfitting Model
Number of Pages Date	71 pages 28 February 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Professional Major	Product Design
Instructors	Kari Susi, Chief Design Engineer Jyrki Kullaa, Principal Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to develop an outfitting model for Valmet's Opti-Win Drum two-drum base winder. This Bachelor's thesis was commissioned by the Järvenpää office of Valmet Technologies Oy. In the first part of this thesis, the theory of winders and the different functions of the winder model related to this thesis are studied. In addition, the features of hydraulic and pneumatic systems relevant to the outfitting design are examined. The second part deals with the outfitting design process and the achieved results.</p> <p>The outfitting development work is based on the outfitting of an older winder model which was used as a starting point. The work was carried out as follows. Firstly, the hydraulic cylinders for the wind-up section were modeled. Secondly, the outfitting design for these cylinders was done. Furthermore, new outfitting solutions were developed for a few cylinders in response to the problems and changes that had occurred in the previous deliveries or otherwise. Finally, the updated outfitting models, drawings and part lists for the wind-up and slitting sections of the winder were created.</p> <p>As a result, up-to-date outfitting drawings for the wind-up and the slitting section of the winder were produced and the necessary improvements in the areas that needed attention were developed as well. The results are intended to be used in the future winder projects, where the outfitting drawings will be used as assembly instructions in the preassembly of the winder. Furthermore, part lists will be utilized for the purchasing of the correct parts.</p>	
Keywords	winder, outfitting design, modeling, hydraulics, pneumatics

# Sisällys

## Lyhenteet ja termit

1	Johdanto	1
1.1	Valmet yrityksenä	1
1.2	Työn lähtötilanne ja tavoitteet	3
2	Pituusleikkuri	4
2.1	Aukirullausosa	5
2.2	Leikkausosa	6
2.3	Rullausosa	9
3	Hydrauliikkajärjestelmät	12
3.1	Hydrauliikan edut ja haitat	12
3.2	Hydrauliikkajärjestelmien peruskomponentit	13
3.3	Hydrauliikkaliittimet	14
3.3.1	Leikkuurengasliittimet	16
3.3.2	Metriset hitsauskartiot	19
3.3.3	Laippakiinnitys	20
3.4	Hydrauliikkaputket	21
3.5	Hydrauliikkaletkut	22
3.6	Hydrauliikkasynterit	27
3.7	Venttiilit ja lohkot	29
4	Pneumatiikkajärjestelmät	32
4.1	Pneumatiikkajärjestelmien ominaisuudet	32
4.2	Pneumatiikkaputket, -letkut ja -liittimet	33
5	Varustelusuunnittelu	35
5.1	Paperikoneiden varustelusuunnittelu	35
5.2	Suunnittelumenetelmät Valmetin järjestelmissä	36

6	Base-pituusleikkurin varustelumallin kehitys- ja suunnittelutyö	38
6.1	Hydrauliikkasyylinterien varustelumallien päivitys	38
6.1.1	Hydrauliikkasyylinterien mallinnus	38
6.1.2	Hydrauliikkasyylinterien varustelujen päivitykset yleisesti	40
6.1.3	Poistopöydän hydrauliikkasyylinterin varustelusuunnittelu	40
6.1.4	Painotelan hydrauliikkasyylinterin varustelusuunnittelu	47
6.1.5	Hylsylvukkojen hydrauliikkasyylinterin varustelusuunnittelu	55
6.2	Rullausosan rungon varustelumallin päivitys	57
6.3	Leikkausosan varustelumallin päivitys	59
7	Yhteenveto	66
	Lähteet	68

## Lyhenteet ja termit

BSP	<i>British Standard Pipe</i> . Käsittää tuumakokoisia standardeja putkille ja liitoksille ja pitää sisällään myös putkikierteet BSPP (BSP-Parallel) suora G-kierre ja BSPT (BSP-Taper) kartiomainen R-kierre.
CAD	<i>Computer-aided design</i> . Tietokoneavusteinen suunnittelu.
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i> . Saksalainen organisaatio, jonka tavoitteena on luoda yhdenmukaistettuja standardeja (DIN) tekniikan ja teollisuuden tarpeisiin ja edistämiseksi.
DN	<i>Diameter nominal</i> . Dimensioton luku, joka viittaa epäsuorasti putkikokoihin.
DS	<i>Drive side</i> . Paperikoneen käyttöpuoli, jolla sijaitsee rullaimen mekaaninen käyttö.
EMEA	<i>Europe, the Middle East and Africa</i> . Alue joka käsittää Euroopan, Lähi-idän ja Afrikan.
ID	<i>Inner diameter</i> . Putken tai letkun sisähalkaisija.
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> . Maailmanlaajuisesti toimiva standardisointiorganisaatio.
JIC	<i>Joint Industry Council</i> . Organisaatio joka kehitti muun muassa standardeja teollisuuden käyttöön.
LS	<i>Left side</i> . Pituusleikkurin vasen puoli paperin kulkusuuntaan katsottaessa.
NDT	<i>Nondestructive testing</i> . Rikkomaton tarkastus.
OD	<i>Outer diameter</i> . Putken tai letkun ulkohalkaisija.
PDM	<i>Product data management</i> . Tuotetiedon hallintajärjestelmä, jota käytetään ohjelmaympäristössä esimerkiksi kokoonpanojen, osaluetteloiden ja piirustusten hallintaan.

RS	<i>Right side.</i> Pituusleikkurin oikea puoli paperin kulkusuuntaan katsottaessa.
SFS	Suomen Standardisoimisliitto.
TS	<i>Tending side.</i> Paperikoneen hoitopuoli, joka on käyttöpuolen vastakkaisella puolella.

Asiakasrulla	Pituusleikkurilta tuleva rulla valmiina asiakkaalle lähtöön.
Kalanteri	Paperikoneen osa, jossa muokataan paperin paksuutta ja kiiltoa.
Kantotelarullaus	Rullaustapa, jossa paperirulla rullataan kantotelojen päällä.
Konerulla	Paperikoneelta tuleva iso rulla paperia tampoaurille rullattuna.
Muutto	Pituusleikkurin tekemä erä asiakasrullia.
Nippi	Kahden lähekkäin olevan telan kosketuskohta.
Pilottilinja	Hydrauliikan linja jossa vallitseva paine vaikuttaa mm. venttiilin toimintaan.
Pulpperi	Paperikoneen osa jossa sellu hajotetaan paperimassan valmistusta varten.
Raina	Paperikoneen radalla kulkeva leveä matto paperia tai kartonkia.
Tampuuri	Liikuteltava tela, jonka ympärille paperi rullataan paperikoneella.

## 1 Johdanto

Tämän insinöörityön on teettänyt Valmet Technologies Oy:n Järvenpään toimipiste. Työn tavoitteena oli kehittää Valmetin OptiWin Drum two-drum base -pituusleikkurin varustelumallia. Työn pohjana olivat vanhemman pituusleikkurimallin varustelumallit, joihin nähden uuteen leikkuriin oli tullut muutoksia. Vanhat varustelumallit päivitettiin ja havaittuihin ongelmakohtiin kehitettiin uusia ratkaisuja.

Työn alkupuolella esitellään aiheeseen liittyvää teoriaa. Teoriaosuudessa käydään läpi pituusleikkureiden toimintaa ja keskitytään esittämään tähän työhön liittyvän kantotela-pituusleikkurin rakennetta. Lisäksi käydään läpi paperikoneiden varustelusuunnittelussa ja tässä työssä keskeisessä asemassa olevia hydraulikkajärjestelmiä ja niiden komponentteja. Myös työhön liittyvistä pneumatiikkajärjestelmistä ja varustelusuunnittelusta yleisesti kerrotaan lyhyesti

Työn loppupuolella käydään läpi työn varustelusuunnittelun vaiheita ja tuloksia. Suunnittelu aloitettiin päivittämällä pituusleikkurin hydraulikkasynterien varustelumallit, mihin sisältyi hydraulikkasynterien 3D-mallinnusta ja hydraulikkalohkojen suunnittelua. Seuraavassa vaiheessa päivitettiin pituusleikkurin leikkaus- ja rullausosan varustelumallit, sekä tehtiin nopea lujoustarkastelu eräälle työssä syntyneelle kannakkeelle.

### 1.1 Valmet yrityksenä

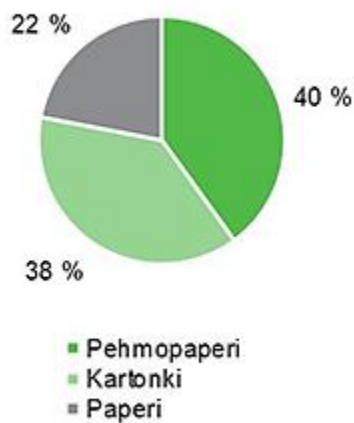
Valmet on yksi maailman johtavista sellu-, paperi- ja energiateollisuuteen teknologiaa, automaatiota ja palveluita toimittava ja kehittävä yritys. Valmetilla on takanaan yli 200 vuoden teollisuushistoria. Valmet ja Rauma yhdistyivät Metsoksi vuonna 1999 ja eriytyivät jälleen 2013 yhtiöiksi Valmet Oyj ja Metso Oyj. Valmet Oyj:n liiketoimintalinjoihin kuuluvat Automaatio, Palvelut, Paperit, sekä Sellu ja energia. Valmetin liikevaihto vuonna 2016 oli noin 2,9 miljardia euroa ja henkilöstömäärä noin 12 000. [1.]

Valmetin Paperit-liiketoimintalinjaan kuuluvat paperi-, kartonki- ja pehmopaperikoneet ja laitteet, sekä koneiden uudistukset alan teollisuudelle. Erilaisia paperi- ja kartonkilajikkeita käytetään lukuisissa lopputuotteissa, kuten pakkauksissa, erilaisissa paperipyyhetuotteissa, sekä kirjoitus- ja painopapereissa. Paperin valmistusprosessi voi alkaa ensiö-

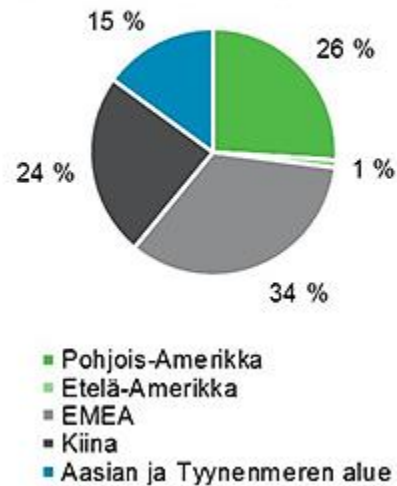


tai kierrätysmassasta ja pitää sisällään useita vaiheita, joissa paperituote valmistetaan massalietteestä rainaamalla, puristamalla ja kuivaamalla. Paperitehtaassa on lisäksi teknologiaa ja laitteita massan käsittelyä ja paperin jälkikäsittelyä varten, joita ovat esimerkiksi rullaus, pituusleikkaus ja rullankäsittely. Paperit-liiketoimintalinjan liikevaihdon jakaantuminen liiketoiminnoittain ja alueittain vuonna 2016 on esitetty kuvassa 1. [2.]

**Liikevaihto  
liiketoiminnoittain (2016)**



**Liikevaihto  
alueittain (2016)**



Kuva 1. Valmetin Paperit-liiketoimintalinjan liikevaihdon jakaantuminen vuonna 2016 [2]

Valmetin valmistamilla koneilla tehdään noin 40 % maailmassa tuotetusta kartongista ja paperista. Perinteisen paperin kysyntä on vähentymässä digitaalisen median kasvavan roolin seurauksena, mutta kartongin kysyntä on sitäkin suuremmassa kasvussa maailmankaupassa lisääntyvien pakkausten kysynnän ansiosta. Myös pehmopaperin kysyntä on kasvussa kehittyvillä markkinoilla tapahtuvan elintason nousun myötä. [2.]

Paperit-liiketoimintalinjan toimitukset perustuvat yleensä projekteihin, joiden toteutus kestää 12 - 24 kuukautta. Paperikoneen elinkaari voi olla kymmeniä vuosia, sen takia uusien koneiden lisäksi toteutetaan myös koneuudistuksia. Näillä uudistuksilla mm. lisätään tuotantoa, parannetaan laatua tai muunnetaan paperikone tuottamaan eri paperilajeja. Nykyaikaisilla koneilla voidaan usein valmistaa monia erilaisia paperilajeja. [2.]

## 1.2 Työn lähtötilanne ja tavoitteet

Tämä työ koskee Valmetin OptiWin Drum two-drum base -pituusleikkuria, johon viitataan tässä tekstissä jatkossa tiivistetysti nimityksellä ”Base-leikkuri”. Base-leikkurin ominaisuuksia on betoniperustuksien ja kantotelarullauksen eli kahden kantotelan varassa tapahtuvan rullauksen käyttö. Base-leikkureiden esikokoonpano suoritetaan Kiinassa, ja se on siirtynyt Xi’anista Shanghain yksikköön.

Base-leikkuriin ei ole löytynyt täysin ajantasaisia varustelukuvia ja siihen on tullut useita päivityksiä viimeksi vastaavaan Valdrum-leikkuriin tehtyjen vanhojen varustelukuvien jälkeen. Lisäksi varustelumalleissa on havaittu kehitystarpeita, jotka kaipasivat uusia ratkaisuja. Xi’anin yksikkö on kokoonpannut tämän tyyppisiä pituusleikkureita useita ja heille on kehittynyt hyvä käytännön tuntemus koneista. Shanghain yksiköllä ei ole vastaavaa pitkää kokemusta Base-leikkureiden kokoonpanosta, joten siellä on olemassa tarve ajantasaisille varustelukuville.

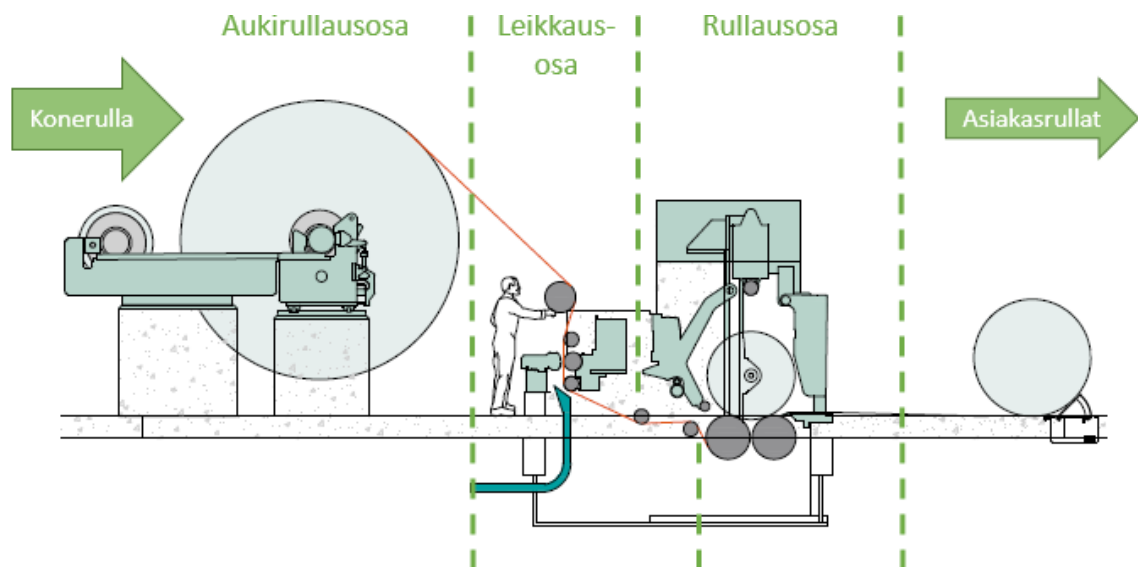
Edellä mainituista syistä johtuen päätettiin Base-leikkurin varustelumallien kehittäminen ottaa tämän insinööritoimiston aiheeksi. Työ rajattiin ensisijaisesti koskemaan pituusleikkurin rullaus- ja leikkausosaa. Työn tavoitteena oli luoda näihin osioihin päivitetty varustelumallit ja varustelukuvat osaluettelointeen, sekä samalla kehittää parempia ratkaisuja niissä ilmenneisiin ongelma-kohtiin.

## 2 Pituusleikkuri

Pituusleikkaus on yksi paperin valmistuksen viimeisistä vaiheista, mikä suoritetaan yleensä jälkikäsitteilynä pituusleikkurilla varsinaisen paperikoneen jälkeen. Paperikoneen sekä mahdollisesti kalanterin tai päällystyskoneen jäljiltä paperi on rullattuna tampuuriraudan ympärille niin kutsutuksi konerullaksi. Kalanterilla vaikutetaan mm. lopullisen paperin paksuuteen ja kiilto-ominaisuuksiin. Konerulla saattaa olla yli 10 m leveä ja rullalla olevan paperin pituus voi olla jopa yli 90 km. [3.]

Tämän takia konerullalla oleva paperi täytyy rullata auki ja leikata kapeampiin osiin eli osarainoihin, jotka ovat asiakkaan käyttöön sopivan levyisiä. Tämän jälkeen osarainat rullataan sopivien pienempien hylsyjen ympärille niin, että myös lopullisten rullien ulkohalkaisijoista tulee halutun mittaisia. Lopputuloksena saadaan asiakasrullia, jotka ovat valmiina lähtemään tehtaalta eteenpäin. Nämä kaikki toimenpiteet suoritetaan pituusleikkurilla, joka voidaan useimmiten jakaa kuvassa 2 näkyviin kolmeen osaan:

- aukirullausosa
- leikkausosa
- rullausosa. [3; 4, s. 383.]



Kuva 2. Tyypillinen pituusleikkuri [muk. 5]

Pituusleikkurilla tapahtuva hukka esimerkiksi toimintahäiriöstä johtuen on paperin valmistajalle kaikkein kalleinta hukkaa, sillä leikkausvaiheeseen mennessä paperi on keretty jalostamaan tehtaassa pitkälle. Paperikoneessa paperia tuotetaan jatkuvana prosessina, eli paperia syntyy normaalissa operaatiossa tasaisella nopeudella katkeamattomana virtana. Pituusleikkurissa asia ei ole näin, vaan paperin liike pysäytetään rullien vaihdon ajaksi. [6, s. 235 - 236.]

Tästä syystä pituusleikkureita joudutaan ajamaan paljon paperikonetta suuremmalla huippunopeudella, jotta leikkurin kapasiteetti riittää vastaamaan paperikoneen tuottoon, huomioon ottaen leikkurin muutonvaihdon aikana pysähdyksissä, jarrutuksessa ja kiihdytyksessä käyttämän ajan. Nykyaikaisien paperikoneiden suurilla ajonopeuksilla, joiden mitoitusnopeus voi olla jopa 2000 m/min, pituusleikkureita tarvitaan useimmiten kaksi per paperikone, tai kolme per kaksi paperikonetta. [6, s. 236, 259 - 265.]

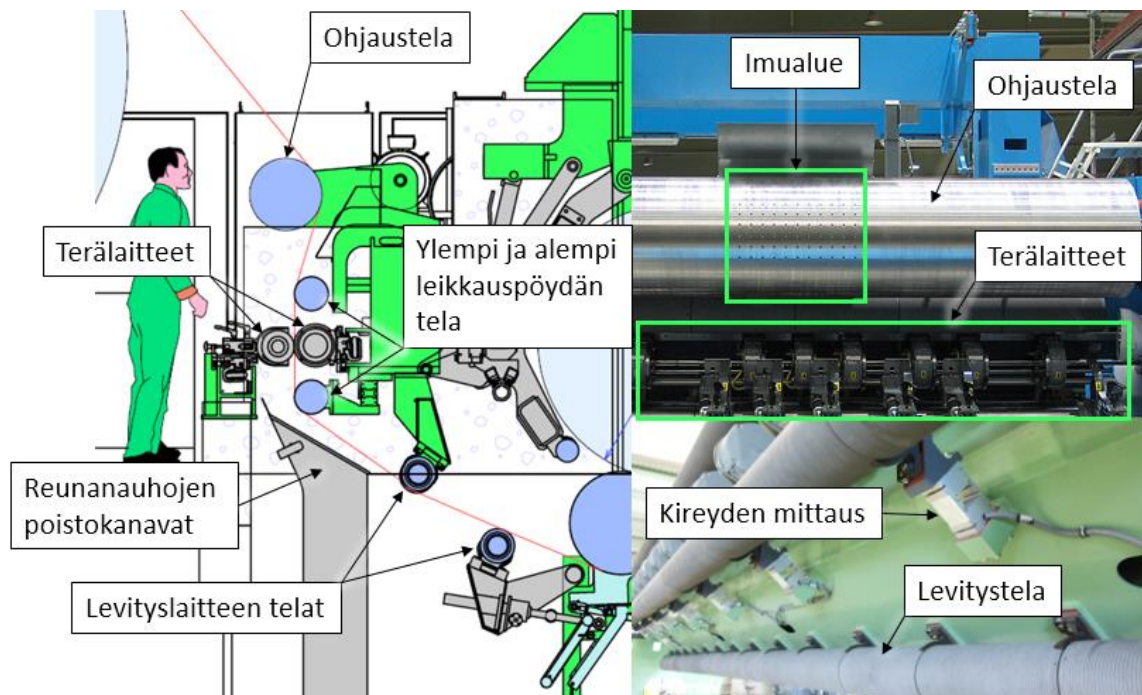
## 2.1 Aukirullausosa

Pituusleikkaukseen menevät konerullat tuodaan pituusleikkurin aukirullausosalle, missä paperi aukirullataan ja viedään pituusleikkurin läpi. Aukirullain sijaitseen ennen varsinaista pituusleikkuria ja on oma kokonaisuutensa, jonka toiminnot voidaan valita paperitehtaan linjaan sopivaksi. Aiempana kuvassa 2 on esitetty eräs tyypillinen malli, jossa konerulla tuodaan nosturilla aukirullauspukille. Tyhjä tampusuurirauta siirretään poistokiskoja pitkin kuvassa vasemmalle tampusuurin poistoasemalle, josta se käydään jälleen hakemassa nosturilla. Konerullat voivat tulla aukirullaimelle myös esimerkiksi niin kutsuttuja siirtokiskoja pitkin, jolloin ne tuodaan jonossa peräkkäin aukirullaimelle. [5.]

Konerulla pidetään aukirullauksen aikana paikoillaan lukitusvarsilla, joita ohjataan hydraulikkasyntereillä. Konerullaa pyöritetään sähkömoottorikäytöllä, jolloin rainankireys saadaan pidettyä sopivana aukirullauksen ja muutonvaihdon aikana. Nopeaa hidastusta varten käytön akselilla on jarrut. Aukirullauspukissa on säädöt koneen poikkisuunnassa, sekä hoitopuolella myös koneen pituussuunnassa, joiden avulla rainan kulku pituusleikkuriin saadaan keskitettyä ja rainan kireyserot tasattua hoito- ja käyttöpuolen välillä. Aukirullain voi lisäksi olla varustettuna oskilloinnilla, jolloin aukirullauspukkia liikutetaan hydraulikkasynterillä koneen poikkisuuntaan edestakaisin aukirullauksen aikana. Tällä pyritään parantamaan asiakasrullien tasalaatuisuutta estämällä rainan paikallisten paksuus- ja jännityserojen kerääntyminen päällekkäin samaan kohtaan. [5; 7, s. 3.]

## 2.2 Leikkausosa

Leikkausosalla paperi ohjataan kulkemaan leikkureiden lävitse, jotka leikkaavat paperirainan oikean levyisiksi osarainoiksi asiakkaan tilauksen mukaan. Lisäksi konerullalta tulevan paperin reunoista leikataan kapeat reunasuikaleet pois, koska rainan reuna-alueet eivät täytä laatuvaatimuksia reunoihin jäävien epätasaisuuksien vuoksi. Poistetut reunanauhat ohjataan imukanavien välityksellä pulppiin, missä valmistuksessa syntyvä hukkapaperi voidaan hyödyntää uudestaan paperimassan valmistuksessa. Leikkausosan laitteita on esitetty kuvassa 3. [3; 5.]

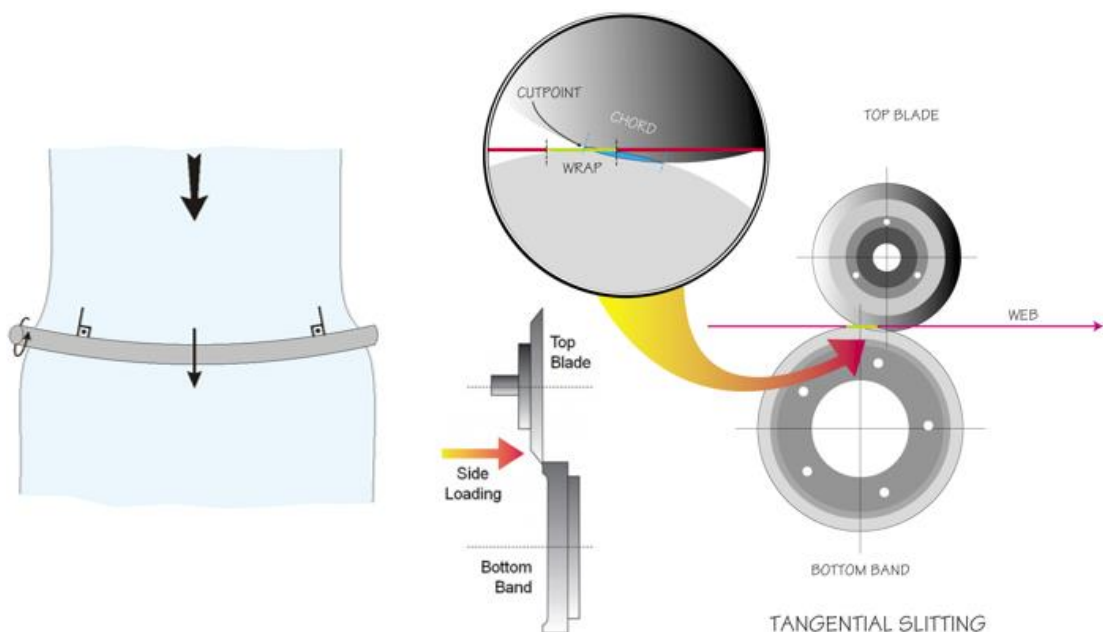


Kuva 3. Tyypillinen pituusleikkurin leikkausosa [muk. 5; 8]

Raina tulee leikkausosalle ensimmäisenä ohjaustelan kautta, jolla on oma sähkökäyttö ja joka on rei'itetty keskeltä. Uuden konerullan rainan päävinnissä paperi painautuu ohjaustelaa vasten ohjaustelan sisälle imupuhaltimella imettävän alipaineen ja rei'istä sisään virtaavan ilman ansiosta. Seuraavaksi raina kulkee terälaitteiden läpi, joilla paperi leikataan osarainoihin ja reunanauhat poistetaan. Ylempi leikkauspöydän tela sijaitsee heti ennen terälaitteita ja alempi leikkauspöydän tela heti terälaitteiden jälkeen. Molemmat telat koostuvat uritetuista telasegmenteistä, jolloin ilma poistuu tehokkaammin telan ja paperirainan välistä. [5; 8.]

Ylemmällä hieman kaarevaksi muotoillulla telalla saadaan aikaan levitysefekti terälaitteille tulevaan rainaan, jolloin raina kiristyy poikkisuunnassa suoraksi kuvassa 4 vasemmalla kuvatulla tavalla. Alemman telan segmenttien kannakkeissa on voima-anturit rainan kireyden mittaamiseen, jolloin rainankireysprofiili ja ero koneen käyttö- ja hoitopuolen (DS ja TS) välillä saadaan määritettyä. Rainankireyttä voidaan säädellä mm. jarrutamalla rullaosan vetämää rainaa aukirullaimen jarrugeneraattorilla. Rainankireys vaikuttaa rainan ajettavuuteen sekä rullattavien rullien kovuuteen ja irtoamiseen toisistaan. [5; 6, s. 230; 9.]

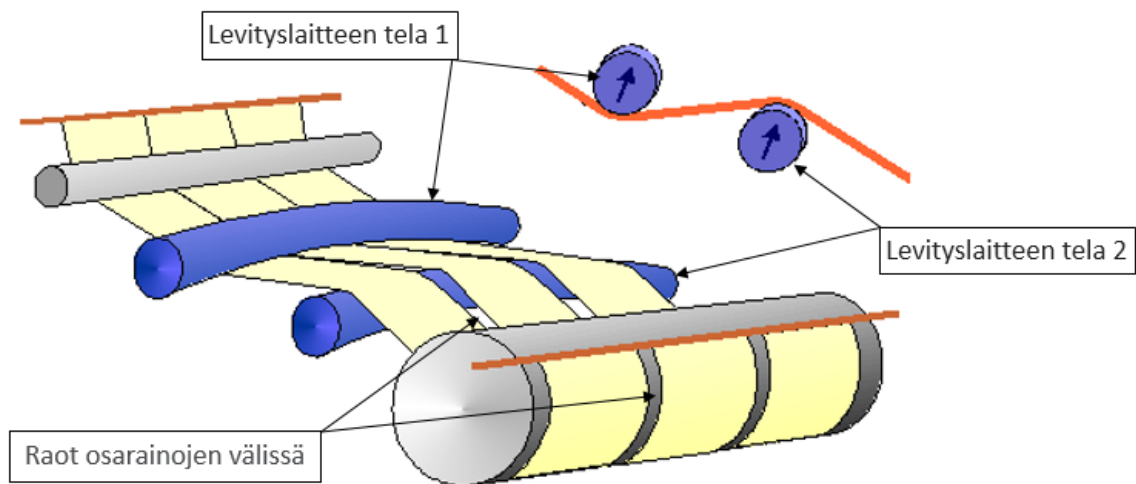
Yleisimmin käytetyt terälaitteet koostuvat kahdesta pyörivästä terästä, joista toista kutsutaan yläteräksi ja toista alateräksi. Yläterä on rainaan nähden käyttäjän puolella ja alaterä koneen rungon puolella. Näistä alaterällä on mekaaninen käyttö ja se pyörittää samalla myös yläterää. Alaterää pyöritetään tyypillisesti 2 - 3 % terien läpi kulkevaa rainaa nopeammin. Tämän teräparin toimintaperiaate on esitetty tangentialisessa leikkaustapahtumassa kuvassa 4 oikealla. Terien limitys säädetään arvoon 0,5 - 2,5 mm riippuen ajettavasta paperilaadusta. Samalla yläterää painetaan alaterän reunaa vasten sivuttaisella voimalla, joka pitää myöskin säätää paperilaadulle sopivaksi, sillä sivuttaisvoimalla on suuri vaikutus leikkausjälkeen ja terien kulumiseen. Leikkauksessa syntyvää pölyä poistetaan imulaitejärjestelmällä. Terälaitteet paikoitetaan poikkisuunnassa asiakasrullien leveyden mukaan kiskoja pitkin joko manuaalisesti, puoliautomaattisesti, tai täysin automaattisella paikoitusjärjestelmällä. [3; 4, s. 1157 - 1158; 5.]



Kuva 4. Levitystela (kuvassa vas.) ja tangentialinen leikkaus (kuvassa oik.) [muk. 5; 10]

Leikkausosalla viimeiseksi tapahtuva vaihe on osarainojen levittäminen irti toisistaan niin, että osarainojen väliin jää luokkaa 0,5 - 1,0 mm raot. Tällä estetään paperin reunojen ristiinmeno eli kulkeutuminen toistensa päälle lomittain, mikä aiheuttaisi ongelmia kiinnirullausvaiheessa ja asiakasrullien juuttumisen toisiinsa kiinni. [4, s. 1159; 5.]

Useimmissa pituusleikkureissa levitykseen käytetään kahden levitystelan järjestelmää, jossa rainasta leikatut osarainat ohjataan erilleen kahden segmenteistä koostuvan ja kaarevaksi muotoillun telan avulla. Nämäkin telat ovat yleensä uritettuja, jotta ilma poistuu paremmin telan ja paperin välistä. Levityslaitteen toiminta perustuu geometriseen taittoon, jossa ensimmäisellä telalla levitetään osarainat erilleen ja toisella telalla palautetaan jälleen kulkemaan yhdensuuntaisesti koneen suuntaan. Valmetin levityslaitteen toiminnan periaate on esitetty alla kuvassa 5. [4, s. 1159; 5; 11.]



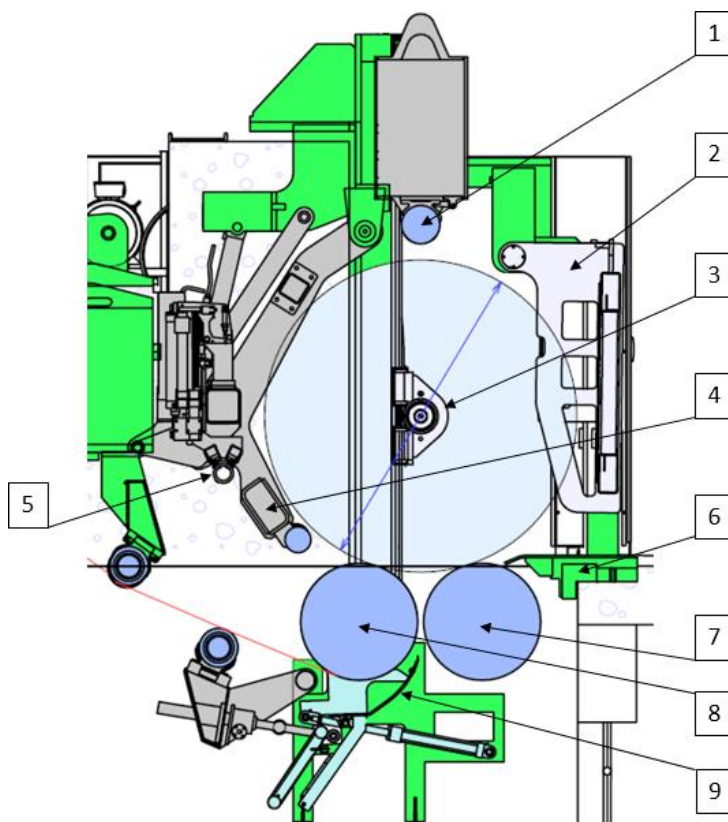
Kuva 5. Levityslaitteen periaate [muk. 5]

Kahden telan rainojenerottimen etuihin lukeutuu mm. erinomainen levityskyky riippumatta asiakasrullien määrästä, pienempi paperista irtoava pölyn määrä sekä vähäisempi riippuvaisuus rainan jännitysprofiilista ja paperilaadun pinnan kitkan vaihteluista konventionaalisempiin levitysmenetelmiin verrattuna. Levityksen suuruutta säädetään liikuttamalla levitystelaa nivelöidyn varsikonstruktion avulla, jolloin levitysteloiden taipumat saadaan sopivaan kulmaan tulevaan ja menevään paperirainaan nähden. [11.]

### 2.3 Rullausosa

Pituusleikkurit voidaan karkeasti jakaa kolmeen eri ryhmään sen mukaan, miten muutto eli rullasarja rullataan kiinnirullauksessa. Nämä kolme eri leikkurityyppiä ovat kantotelaleikkurit, hihnakantoleikkurit ja keskiöleikkurit. Kehitys on lähtenyt liikkeelle kantotelaleikkureista, joissa muutto rullataan kahden teräksisen kantotelan varassa. Kuvassa 6 on esitetty tyypillinen kantotelaleikkurin rullausosa, josta löytyvät seuraavat osat:

1. painotela
2. kitasuoja
3. hylsylukot
4. rullantyönnin
5. hylsyjenlaitin
6. poistopöytä
7. etutela
8. takatela
9. katkaisulaite. [4, s. 1160; 5; 6, s. 230.]



Kuva 6. Tyypillinen kantotelaleikkurin rullausosa [muk. 5]



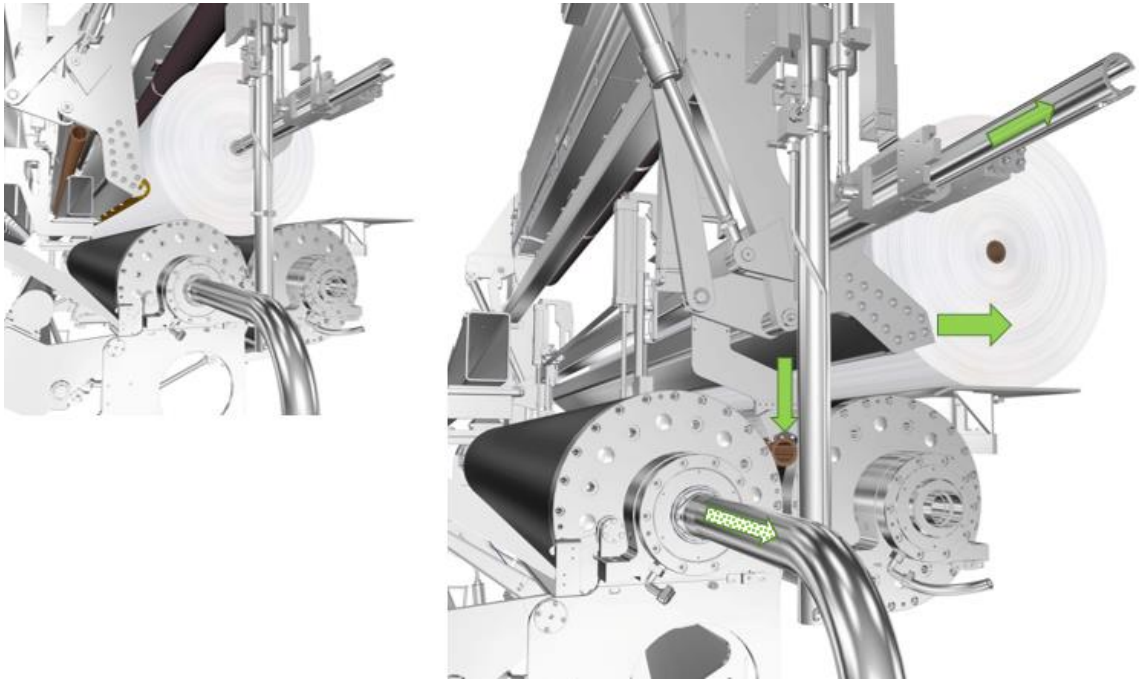
Hihnakantotelaleikkuri on eräs variaatio tavallisesta kantotelaleikkurista, jossa toinen kantoteloista on korvattu hihnoin yhdistetyillä kahdella pienemmällä telalla. Tällöin rullattavan rullan nippipaine saadaan pienemmäksi, koska rullan kosketus jakaantuu isommalle pinta-alalle hihnojen päällä. Tällä pyritään ehkäisemään rullaan syntyviä virheitä isoilla rullanhalkaisijoilla ja suurilla nippipaineilla. Vaihtoehtoinen ratkaisu on pinnoittaa toinen teräksisistä kantoteloista joustavalla polymeeripinnoitteella, tai käyttää paineilman tasaista nostetta rullan alla. Myös keskiörullaimet on kehitetty ratkaisemaan edellä kuvatut ongelmat. Niissä jokainen rulla on tuettu erikseen rullausvarsien avulla. [4, s. 1161 - 1165; 6, s. 230 - 231.]

Kantotelaleikkurin tapauksessa rullien kovuutta säädellään rullauksessa rainankireyden, nippipaineen ja vääntömomentin avulla. Rullan tiiveyteen voidaan vaikuttaa kantotelojen välisen vääntömomenttieron avulla. Yleisesti ottaen rullan kovuutta voidaan lisätä kasvattamalla etutelan vääntömomentin suhdetta takatelan vääntömomenttiin. Vääntömomenttiero voidaan säätää rullauksen aikana sopivan kovuuden ja kiihtyvyyden tai hidastuvuuden aikaansaamiseksi ilman rullien ja telojen välistä lipsumista. [4, s. 1160; 12.]

Nippikuorma koostuu rullien oman painon ja painotelan yhteisvaikutuksesta. Rullauksen alussa rullien omapaino ei ole tarpeeksi suuri tuottamaan tarvittavaa nippipainetta ja riittävää kitkaa vääntömomentin aikaansaamiseksi. Tämän takia rullauksessa käytetään painotelaa, joka painaa rullia tarvittavalla lisävoimalla kantoteloja vasten. Painotelan rulliin kohdistamaa voimaa kevennetään hydraulikkasyylintereillä sitä mukaa, kun rullien omapaino kasvaa rullauksen aikana. Rullauksen loppuvaiheessa painotela vain tukee rullia niitä kevyesti painaen. [4, s. 1160.]

Tähän työhön liittyvä Base-leikkuri on kantotelatyyppiä, ja seuraavassa kerrotaan tiivistetysti sen rullausosan toiminnoista. Rullauksen aikana rullausta hallitaan edellä kuvatulla tavalla kantotelojen ja painotelan avulla. Kitasuoja pidetään rullauksen aikana alhaalla, millä varmistetaan rullien pysyminen rullausosan sisällä ja estetään henkilöiden pääsy nippiin. Muutonvaihdossa rullat pysäytetään, kitasuoja ja painotela nostetaan ylös. Katkaisulaitteen terä nostetaan takatelaa vasten ja rei'itettyyn takatelaan kytketään imu päälle. Hylsylukot avataan ja rullantyönnin työntää asiakasrullat ulos poistopöydän ylitse.

Tällöin paperi katkeaa katkaisuterää vasten ja tulevan rainan pää jää terän ja takatelan väliin. Terälaitteen terä lasketaan takaisin alas ja paperi pysyy edelleen takatelassa kiinni siinä vaikuttavan imun ansiosta. Rullantyöntimen ollessa edelleen etuasennossa, hylsyjenlaittimen imukuppien varassa olevat hylsyet lasketaan nippiin. Näitä vaihteita on esitetty kuvassa 7. [5; 13.]



Kuva 7. Valmetin Base-leikkurin muotonvaihto [muk. 13]

Edellä mainittujen laitteiden lisäksi rullausosalla on automaattinen hylsyjensyöttölaite, jolla oikeaan mittaan leikatut hylsyet syötetään tarkasti oikeaan kohtaan edellisen muuton rullauksen aikana. Samassa yhteydessä hylsyjen pinnalle lisätään kuumaliimaa automaattisella liimauslaitteella, jotta paperi tarttuu hyvin hylsyn pintaan rullauksen alkuvaiheessa. Kun hylsyet on laskettu nippiin hylsyjenlaittimella, rullantyönnin palautetaan jälleen taakse. Kitasuoja, hylsylukot ja painotela lasketaan alas. Hylsylukot lukitaan ja seuraavan muuton rullaus voidaan aloittaa. [5.]

### 3 Hydraulikkajärjestelmät

Hydrauliikalla tarkoitetaan tekniikkaa, jolla siirretään energiaa paineistetun nesteen välityksellä. Hydraulikkajärjestelmissä paineistettu neste välitetään putkien, letkujen ja venttiilien avulla haluttuun kohteeseen, missä siihen varastoitu energia muutetaan lineaariseksi tai pyöriväksi liikkeeksi. Hydraulikkajärjestelmien käyttö on viime vuosikymmeninä lisääntynyt, sillä hydraulikkakomponenteissa on tapahtunut voimakasta paineenkeston, luotettavuuden ja säädettävyyden kehittymistä. Nykypäivänä hydraulikalla onkin merkittävä rooli jokapäiväisessä elämässämme ja sitä kutsutaankin osaksi lihasta, joka liikuttaa teollisuutta. [14, s. 6; 15, s. 691; 16, s. 1; 17, s. 822.]

Hydrauliikan alkuaikoina oltiin useimmiten tekemisessä veden ja rakennesuunnittelun kanssa, mutta kehityksen myötä otettiin myöhemmin käyttöön tarkennetut käsitteet *teollisuushydrauliikka* ja *öljyhydrauliikka*, joilla tarkoitettiin nimenomaan paineistetun öljyn käyttöä tehon siirrossa. Nykyään hydraulikalla viitataan yleensä järjestelmiin, joissa työnesteenä on öljy ja vedellä toimivaa hydraulikkaa kutsutaan erikseen vesihydrauliikaksi. Öljystä on muodostunut suosituin hydraulikassa käytetty työneste sen hyvien korroosiota vastustavien, voitelevien ja kylmänkeston ominaisuuksien vuoksi. [16, s. 2.]

#### 3.1 Hydrauliikan edut ja haitat

Hydraulikkajärjestelmällä on monia etuja verrattuna esimerkiksi täysin mekaanisiin tai sähköisiin järjestelmiin, minkä takia hydraulikkajärjestelmiä käytetäänkin monissa soveluksissa. Näihin etuihin lukeutuvat

- voiman moninkertaistamisen mahdollisuus tehokkaasti ilman vaihteistoja
- saavutettaviin tehoihin nähden pienikokoiset komponentit
- tarkka liikkeiden, nopeuksien ja voimien kontrollointi isolla skaalalla
- helposti järjestettävissä oleva ylikuormituksen esto
- vakio voiman ja väännön mahdollisuus nopeudesta riippumatta
- yksinkertainen rakenne ja pieni liikkuvien osien määrä
- taloudellisuus ja turvallinen operointi kovissakin olosuhteissa. [15, s. 692; 16, s. 176; 17, s. 822.]

Kaikista näistä hyvistä ominaisuuksistaan huolimatta hydrauliiikan käytöllä on myös omat haittapuolensa, joita muilla järjestelmillä ei välttämättä ole. Hydrauliiikkajärjestelmien kohdalla kannattaa ottaa huomioon ainakin seuraavia seikkoja:

- Työnesteenä useimmiten käytetyn öljyn kanssa työskentely saattaa olla sotkuista ja ympäristölle haitallista.
- Hydrauliiikkajärjestelmän vuotojen eliminointi on käytännössä haastavaa.
- Hydrauliiikkajärjestelmä vaatii hyvää öljyn puhtautta toimiakseen moitteetta, mikä tarkoittaa jatkuvassa käytössä oleville laitteille säännöllistä huoltoa.
- Hydrauliiikkajärjestelmän tehon tuottavat koneikot ovat usein meluisia.
- Putkistoissa syntyvät virtaushäviöt rajoittavat hydraulisessa tehonsiirrossa käytettäviä etäisyyksiä.
- Hydrauliikkakomponentin pettämisestä seuraava korkeapaineinen neste-suihku voi aiheuttaa vakavan loukkaantumisvaraan lähellä oleville.
- Useimmat hydrauliiikassa käytetyt nesteet ovat tulenarkoja ja voivat syttyä palamaan vuodon sattuessa varsinkin, jos lähistöllä on kuumia pintoja. [15, s. 692; 16, s. 176.]

### 3.2 Hydrauliiikkajärjestelmien peruskomponentit

Hydrauliiikkajärjestelmät vaativat toimiakseen ainakin seuraavia komponentteja:

- tankki nesteen varastointia varten
- pumppu tuottamaan hydraulinen teho eli järjestelmän paine ja tilavuusvirta
- sähkömoottori tai muu voimanlähde pyörittämään pumppua
- venttiilejä ohjaamaan nesteen virtausta
- toimilaitteita muuttamaan hydraulinen energia mekaaniseksi työksi
- putkia ja letkuja välittämään neste toimilaitteille ja takaisin tankkiin. [17, s. 827; 18, s. 8 - 9.]

Yksinkertainen hydrauliikkapiiri voisi koostua esimerkiksi sähkömoottorilla käytettävästä pumpusta, paineenrajoitusventtiilistä, suuntaventtiilistä, hydrauliikkasynteristä, tarvittavasta putkistosta ja tankista. Tässä tapauksessa suuntaventtiilillä ohjattaisiin sylinterin liikettä vaikuttamalla nesteen virtaussuuntaan tai mahdollisesti pysäyttämällä se kokonaan. Jokaisesta hydrauliikkapiiristä löytyy yleensä ainakin yksi paineenrajoitusventtiili, ja se sijoitetaan useimmiten heti pumpun jälkeen rajoittamaan järjestelmän maksimipaine halutulle ja turvalliselle tasolle.

Käytännössä jokaiseen hydraulikkajärjestelmään kuuluu myös suodatin auttamaan nesteen puhtaana pitämisessä. Hydraulikkanesteen puhtaus on ehdottoman tärkeää järjestelmän luotettavan toiminnan kannalta, ja epäpuhtaudet hydraulikkaneesteessä ovatkin tarkoilla toleransseilla valmistettujen hydraulikkakomponenttien pahin vihollinen. [16, s. 136.]

Lisäksi hydraulikkajärjestelmiin voi sisältyä paljon muitakin komponentteja, joilla saavutetaan kehittyneempiä toimintoja ja parannetaan järjestelmän toimintaa ja valvontaa. Tällaisia ovat esimerkiksi erilaiset anturit, joilla voidaan mitata paikallisesti järjestelmän painetta, tilavuusvirtaa, lämpötilaa, viskositeettia, nesteen puhtautta, pinnankorkeutta, tärinää, melua, voimaa, sekä venttiilien ja toimilaitteiden asentoa. Nykypäivänä sähköinen ohjaus ja ohjelmalogiikka ovatkin hyvin vahvasti osana teollisten hydraulikkajärjestelmien toimintaa. [17, s. 828 - 829; 19, s. 2.]

### 3.3 Hydraulikkaliittimet

Liittimiä tarvitaan hydraulikassa liittämään putki tai letku kohteesta toiseen. Liittimiä käytetään myös jatkoksien ja linjan haaroitusten tekemiseen, sekä ahtaissa paikoissa käännökset voidaan ratkaista kulmaliittimiä käyttämällä. Tämän lisäksi liittimiä käytetään erilaisten putkikokojen ja porttien adaptoinnissa toisiinsa yhteensopiviksi sekä läpivienneissä ja erikoissovelluksissa kuten pyörivissä liitoksissa.

Liittimien täytyy liittää järjestelmän komponentit toisiinsa luotettavasti ilman vuotoja. Liitoksen on oltava niin tukeva, etteivät komponentit irtoa toisistaan järjestelmän toiminnan aikana esimerkiksi tärinästä johtuen. Liittimien valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat seuraavat:

- Vaadittu paineen kesto, mihin vaikuttaa järjestelmässä vallitseva maksimipaine.
- Korroosion kesto, missä tulee ottaa huomioon ympäristön olosuhteet ja käytettävä väliaine.
- Käyttövarmuus, johon vaikuttaa liitosten tiiveysvarmuus ja asennettavuus.
- Saatavuus, joka koostuu alueellisista tarjonnoista ja toimitusajoista.
- Tarvittava koko, sillä joitain malleja saa vain tietyissä kokoluokissa.
- Yhteensopivuus ja yhdenmukaisuus ympäröivien järjestelmien kanssa, sillä erilaisia liitosstandardeja ei kannata sotkea keskenään.
- Hinta, joka vaihtelee liittimistä riippuen.



Liittimet on jaettu kolmeen eri sarjaan paineluokan mukaan:

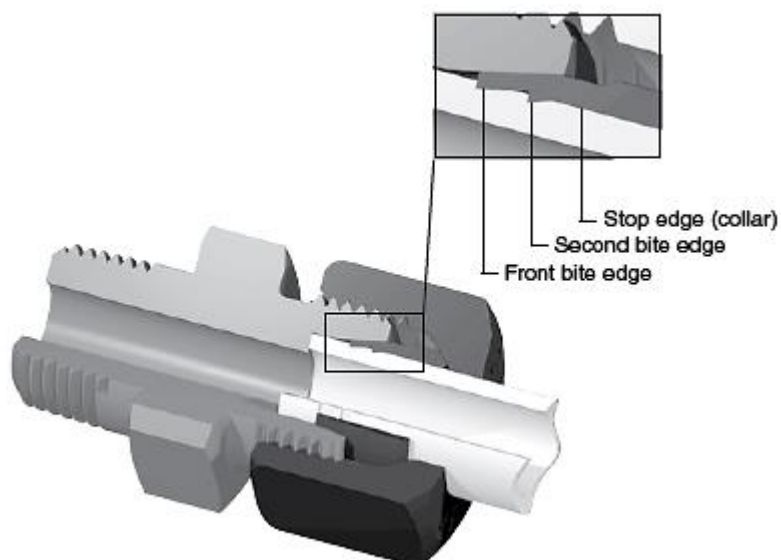
- LL, erittäin kevyeen käyttöön
- L, kevyeen käyttöön
- S, raskaaseen käyttöön.

Karkeasti ottaen S-sarjaa käytetään hydraulikan painelinjoissa, L-sarjaa tankkilinjoissa tai matalan paineen hydraulikassa sekä pneumatiikassa ja LL-sarjaa esimerkiksi matalapaineisissa rasvalinjoissa. S-sarjan liittimet ovat paksuseinäisempiä ja fyysisesti mitoittaan isompia, verrattuna saman putkikoon (OD) L-sarjan liittimiin. S-sarjassa käytetään myös yleisesti paksuseinäisempiä putkia vastaamaan korkeampiin paineenkestovaatimuksiin, ja koosta 12 ylöspäin S- ja L-sarjoissa käytettävien putkien ulkohalkaisijat eroavat toisistaan. On huomattava, että liittimien ja putkien paineenkesto ja mitoitus on viimekädessä tarkistettava valmistajan antamista teknisistä tiedoista, sillä markkinoilla on paljon muitakin kuin taulukon 1 mitoituksilla valmistettuja tuotteita.

Toinen yleisessä käytössä oleva liittintyyppi on Parkerin USA:ssa 1940-luvulla kehittämä tuumamittainen liitin, jossa putken pää muokataan 37° kulmaan ja kiristetään putkea ympäröivällä mutterilla liittimen vastaavaa kartiota vasten. Näitä liittimiä kutsutaan yleisesti JIC-liittimiksi, ja ne kuuluvat standardien SAE J514 ja ISO 8434-2 piiriin. Niitä käytetään erityisesti mobiilihydraulikassa, ja ne ovat saavuttaneet 70 %:n markkinaosuuden USA:ssa. [19, s. 5.]

### 3.3.1 Leikkuurengasliittimet

Metristä mitoitusta käyttävät leikkuurengasliittimet kuuluvat kansainvälisen standardin ISO 8434-1 piiriin. Putken ja liittimen välinen leikkuurengasliitos on esitetty Parkerin liittimen avulla kuvassa 8. Liitoksen tiivistys perustuu progressiiviseen leikkuurenkaaseen, joka pureutuu putken ulkopintaan kiristysmutteria kiristettäessä liittimen 24° kartiopinnan vaikutuksesta. Putken päälle kiristyksen myötä ankkuroitunut leikkuurengas myös estää putken irtoamisen liitoksesta. Leikkuurenkaan materiaalin tulee olla yhteensopiva väliaineen, käytettyjen liittimien ja putkimateriaalin kanssa, esimerkiksi ruostumattoman teräsputken kanssa käytetään ruostumattomasta teräksestä valmistettua leikkuurengasta. [20; 21, s. 5.]



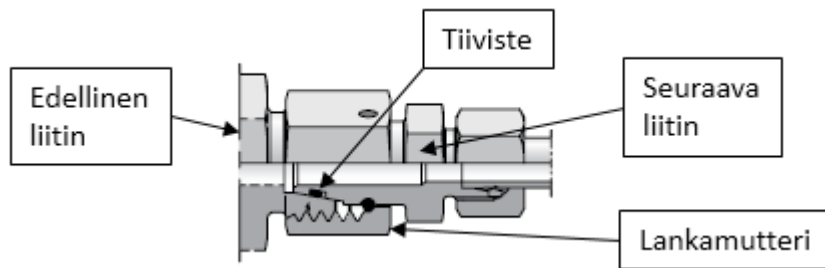
Kuva 8. Parker ISO 8434-1 metrinen leikkuurengasliitos [22]

Liittimeen sopivat putkikoot ja liittimien väliset kierteet ovat metrisiä, mutta laitteiden liitäntäporttien kierteet ovat useimmiten BSPP-standardin mukaisia G-kierteitä. Tällöin lähtöliittimen toisessa päässä on oltava laitteen porttiin sopiva BSPP-kierre ja portin tiivistykseen useimmiten käytetty elastinen tiiviste. Tämän liitinsarjan etuihin lukeutuvat

- helppo ja nopea asennus kenttäolosuhteissa
- uudelleen kiristyksen tarpeettomuus normaaleissa olosuhteissa
- saatavuus 25 koossa putken ulkohalkaisijoille 4 - 42 mm
- tarjonta kaikille kolmelle eri paineluokkasarjalle: erittäin kevyt (LL), kevyt (L) ja raskas (S)
- hyvät virtausominaisuudet liittimen kanavan ollessa saman kokoinen putken sisähalkaisijan kanssa
- kompakti rakenne
- helppo yhdistettävyyys muihin liitinjärjestelmiin ja letkuihin. [23, s. A4.]

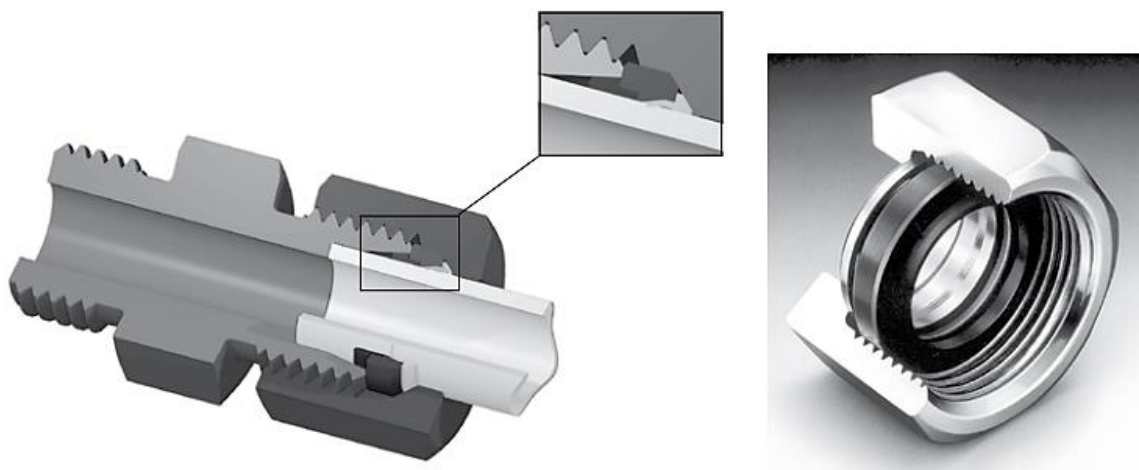
Kahden liittimen välinen liitos on toteutettu kartiopintaa vasten painautuvan elastisen tiivisteiden avulla, mikä on näytetty kuvassa 9 supistusliittimen avulla. Liittimien välisessä liitoksessa edellisessä liittimessä on oltava tavallinen 24° kartiopinta ja seuraavan liittimen on oltava toiseen liittimeen kytkettävää mallia. Näin liittimiä voidaan kytkeä monta peräkkäin mutkien, haarojen ja komponenttien kiinnitystä varten.





Kuva 9. Liittimien välinen liitos [muk. 22, s. E2]

Pelkällä metalli vastaan metallitiivistyksellä on omat rajoitteensa liitoksen tiiveyden suhteen. Tämän takia on kehitetty uudempia liitostekniikoita, joissa käytetään metallisen leikkuurenkaan lisäksi hyväksi myös elastista tiivistettä. Yksi esimerkki tästä on Parkerin kehittämä EO-2 liitinjärjestelmä, jonka kerrotaan tiivistävän liitoksen ”hermeettisesti”. Tämän liitoksen periaate ja niin kutsuttu toimintamutteri on esitetty kuvassa 10. [22, s. E9.]



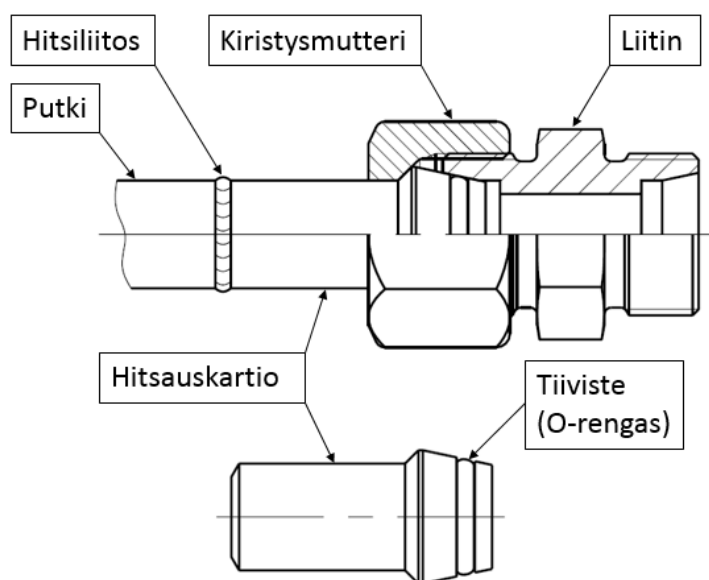
Kuva 10. EO-2 liitos (kuvassa vas.) ja EO-2 toiminta mutteri (kuvassa oik.) [22, s. E9 - E10.]

Liitoksessa on metallisen tukirenkaan lisäksi elastinen tiiviste, joka ison kosketuspinta-alansa ansiosta kompensoi tehokkaasti putken ja liittimen kartiopinnan epätäydellisyyksiä. Toimintamutteri toimitetaan valmiiksi kasattuna pakettina tukirenkaan ja tiivisteen kanssa, jotka eivät pääse putoamaan ulos mutterista. Tämä johtaa vähempään määrään irtonaisia osia ja pienentää osien väärinpäin asennuksen riskiä. [22, s. E9 - E10.]

### 3.3.2 Metriset hitsauskartiot

Putkiliitoksissa voidaan vaihtoehtoisesti leikkuurenkkaan sijasta käyttää hitsattavia liittimiä. Hitsauskartioita alkoi tulla markkinoille 1950-luvun lopussa ja niitä on käytetty perinteisesti raskaissa sovellutuksissa kuten hydraulikkapuristimissa, kaivostoiminnassa, terästehtaissa ja laivanrakennuksessa. Parkerin katalogissa mainitaan, että nykyisin monet käyttäjät ovat siirtyneet hitsauskartioista uudempiin menetelmiin kuten EO-2/EO-MAT, jolla tarkoitetaan automaattisen EOMAT -kokoontanokoneen käyttöä EO- tai EO-2 -liitosten kokoontanossa. Kuitenkin esimerkiksi useissa puristinkäytöissä ovat turvallisuusmääräykset edellyttäneet hitsattavien elastisella tiivisteellä varustettujen putkipäiden käyttöä. [19, s. 6; 23, s. A9.]

Hitsauskartiolla tehtävä liitos on esitetty kuvassa 11. Hitsauskartio hitsataan putken päähän ilman O-rengasta ja kiristysmutteri on muistettava asettaa oikein päin putken päälle ennen hitsausta. Putkenpään esikäsittelyyn, hitsausmenetelmään, hitsaajien luokitukseen, jälkikäsittelyyn, tarkastukseen ja dokumentointiin tulee kiinnittää huomiota. 24° hitsauskartiot kuuluvat kansainvälistä standardin ISO 8434-1:2007 (ennen ISO 8434-4:1995) piiriin ja voidaan liittää jokaiseen kevyen tai raskaan sarjan metrisen putkiliittimen kartioon vakiokiristysmutteria käyttäen. [23, s. A9 - A10; 21, s. iv.]



Kuva 11. EO 24° hitsauskartio [muk. 23, s. A9]

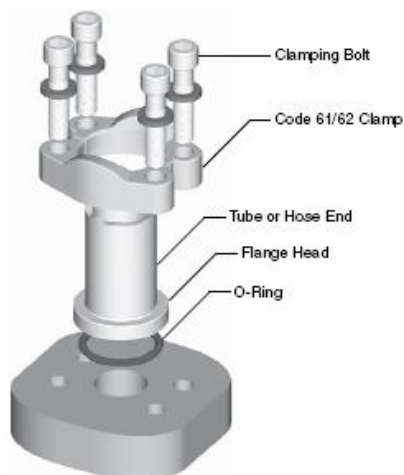
Hitsauskartion hyviin ominaisuuksiin kuuluvat seuraavat:

- Soveltuvuus käytettäväksi myös heikkolaatuisten ja saumallisten putkien kanssa, sillä putken pinnan laatu ja mittatarkkuus eivät ole kovin oleellisia. Sopii siis hyvin maihin, joissa putken laatu on heikko.
- Korkeiden paineiden kestävyys jopa 550 bariin asti, sillä tiivistysgeometria on suunniteltu parantamaan liitoksen tiiveyttä paineen noustessa.
- Hyvä ja kestävä tiivistyskyky elastomeerisen O-renkaan ansiosta.
- Vähäinen putken irtomisvaara virheellisessä liitoksessa ja vuoto on suuri ennen lopullista pettämistä.
- Hyvä jälleen asennettavuus, sillä kartio ei ole altis kulumiselle ja vaurioitunut O-rengas voidaan vaihtaa helposti.
- Soveltuvuus hitsattavaksi useimmilla hitsausmenetelmillä. [23, s. A9.]

Hitsattavien liittimien käytön haittapuolena voidaan pitää tarvetta itse hitsaukselle, sillä kokoonpanopaikalla tarvitaan silloin pätevä hitsaaja ja välineet suorittamaan hitsaus. Toisin rutiininomaisessa käytössä hitsauksen automatisointi nopeuttaa asennustyötä ja parantaa tuloksen tasalaatuisuutta. Saumallisten putkien ja hitsauskartioden käyttö johtaa pienempiin kenttäputkiston rakentamiskuluihin verrattuna esimerkiksi EO2-Plus -liittimillä ja haponkestävillä tarkkuusteräsputkilla toteutettuun putkistoon. [19, s. 6.]

### 3.3.3 Laippakiinnitys

Laippakiinnitystä käytetään yleensä isoilla putkikoilla ja korkeilla paineilla. Yleisimmin hydraulikassa käytetyt neljän pultin liitokset on standardoitu SAE J518 ja ISO 6162:ssa. Tyypillinen neljän pultin SAE J518 laippaliitos on esitetty kuvassa 12. [22, s. L5.]



Kuva 12. Parker SAE J518 neljän pultin laippaliitoksen osat [22, s. L6]

Liitos perustuu laipan pään urassa olevaan O-renkaaseen, joka puristuu portin tasopintaa vasten. Puristusvoima saadaan aikaan pulteilla, jotka painavat niin kutsutut länget laipan päälle. Länget voivat olla yksi- tai kaksiosaisia, mikä helpottaa asennusta. Liitos kiristetään niin tiukalle, että laipan otsapinnan ulko-osat ja portin otsapinta koskettavat metalli metallia vasten. Tällöin tiiviste ei pääse korkeankaan paineen alaisena pullahtamaan liitoksesta ulos. [22, s. L6.]

Laippaliitoksen etuihin kuuluu hyvään paineenkeston lisäksi alhaisempi kiristysmomentin tarve, joten asennus voidaan suorittaa pienemmällä kiristysavaimella, mistä on etua ahtaissa paikoissa. Laippakiinnityksessä voidaan käyttää putken päähän hitsattavaa liittintä, putken pään muokkausta ja kaulusta, tai kierteellistä laippaliitintä. Lisäksi laippaliitosporttiin voidaan suoraan kiinnittää esimerkiksi venttiililohko, jonka liitospintaan on tehty oikea koneistus ja ura O-renkaalle. [22, s. L6 - L5.]

### 3.4 Hydraulikkaputket

Tehokas hydraulinen tehonsiirto on yksi tärkeimmistä osa-alueista hydraulikkajärjestelmien suunnittelussa ja suorituskäytössä. Tehonsiirrosta vastaava hydraulikkaneite johdetaan putkistoverkoston läpi tankista toimilaitteille ja takaisin. Siksi putkistojen suunnittelu onkin tärkeässä roolissa järjestelmän tehokkaan toiminnan kannalta. [16, s. 157.]

Putkikoot ilmoitetaan putken ulkohalkaisijan (OD) ja seinämän vahvuuden mukaan. Näin toimitaan, koska putkien kanssa käytettävät liittimet ja taivutustyökalut ovat pääasiassa riippuvaisia putken ulkomitasta. Seinämänvahvuus vaikuttaa putken paineenkestävyyteen, mutta pienentää putken sisähalkaisijaa, mikä pitää ottaa huomioon virtausvastusta määritettäessä. Hydraulikkaputket toimitetaan tehtaalta yleisimmin suorissa 6 m pätkissä ja standardin SFS-EN 10305 mukaan jokaiselle toimitettavalle putkelle tulee suorittaa NDT-tiiveystarkastus. [24, s. 6, 10, 15.]

Teräsputkilla saavutetaan hydraulikassa hyvä tasapaino kustannusten ja suorituskäytön suhteen. Hydraulikassa yleisimmin käytetyt putkistomateriaalit ovatkin hiiliteräs, ruostumaton- tai haponkestäväteräs. Näistä materiaaleista halvin ja eniten korroosiolle altis on hiiliteräs ja kallein sekä parhaiten korroosiota kestävä haponkestäväteräs. Suosituin putkilaatu on kylmävedetty tarkkuusteräsputki sen hyvän pinnanlaadun ja tarkkojen mittato-

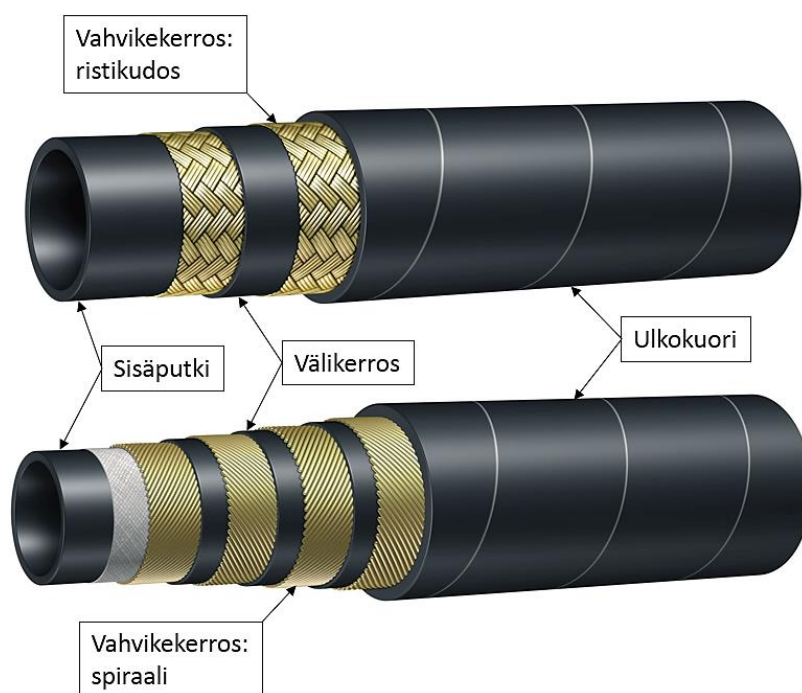
leranssien vuoksi. Myös hitsatut tarkkuusteräsputket ovat käyttökelpoisia paineenkestävyydeltään, mutta niitä ei käytännössä suositella käytettäväksi leikkuurengasliitosten yhteydessä. Teräsputkistot täytyy huuhdella kokoonpanon jälkeen ennen järjestelmän käyttöönottoa, jotta putkien sisälle jääneet epäpuhtaudet saadaan poistettua. [14, s. 97; 16, s. 157.]

Putkivedoissa täytyy ottaa huomioon putkien minitaivutussäde, joka on useimmille teräsputkille luokkaa 2 kertaa putken ulkohalkaisija, mutta riippuu käytettävästä taivutustyökalusta. Lisäksi putken päihin tulee jättää riittävästi suoraa osuutta, jotta liittimen kiristysmutteri mahtuu liukumaan putken päälle ja liitoksen tekeminen on mahdollista. Myös peräkkäisten taivutusten ja putkenpäiden väliset minimietäisyydet vaihtelevat taivutuslaitteesta riippuen. Myös putkien kannakoinnin on oltava riittävä ja turvallinen. Standardissa ISO 4413 on esitetty suositellut putkikannakkeiden etäisyydet suorille osuuksille, taivutuksesta ja liitoskohdasta. Esimerkiksi putken ulkohalkaisijoille 10 - 25 mm suositellaan tuen etäisyydeksi liitännästä 100 mm, tukien välimatkaksi suoralla osuudella 900 mm ja tuen etäisyydeksi mutkasta 200 mm. [14, s. 100; 25, s. 44.]

### 3.5 Hydrauliikkaletkut

Letkuja käytetään putkien sijaan silloin, kun hydrauliikkalinjojen täytyy pystyä liikkumaan tai taipumaan esimerkiksi toimilaitteen liikkeen vuoksi. Joissain tapauksissa myös hankalasti taivuteltava putkireitti voi olla kätevämpi toteuttaa letkua käyttäen. Lisäksi letkuilla voidaan kompensoida lämpölaajenemista, ja ne vaimentavat värähtelyjä putkistoissa. Hyvä tapa vaimentaa esimerkiksi pumpusta johtuvaa värähtelyä putkistoon on lisätä lyhyt pätkä letkua linjan alkuun. [14, s. 15; 16, s. 165; 18, s. 47 - 48.]

Hydrauliikkaletkut valmistetaan synteettisistä kumi- ja punoskerroksista, mikä mahdollistaa korkeapaineisen toiminnan. Vahvikepunokset voivat olla tekstiili- tai teräspunoksia. Korkeapaineletkujen tyypillinen rakenne on esitetty kuvassa 13. Vahvikekerrosten lukumäärä vaihtelee yleensä yhdestä kuuteen riippuen letkun paineluokasta. Hydrauliikassa käytetyt letkut voidaan jakaa vahvikerakenteen mukaan kahteen päätyyppiin, jotka ovat ristipunosletkut ja spiraaliletkut. Spiraaliletkuilla saavutetaan suurempia paineenkestävyyksiä, mutta myös niiden minimitaivutussäde on usein suurempi kuin ristikudosletkuilla. Vahvikekerrosten lukumäärän ollessa yksi tai kaksi käytetään yleensä ristikudosrakennetta ja neljällä tai kuudella kerroksella spiraalirakennetta. [14, s. 15; 16, s. 165.]



Kuva 13. Tyypillinen korkeapaineletkun rakenne, kaksikerroksinen ristikudosletku (kuvassa ylempanä) ja neljäkerroksinen spiraaliletku (kuvassa alempana) [muk. 27]

Sisäputkessa käytetyn materiaalin tulee olla kemiallisesti yhteensopiva letkussa kulkevan nesteen kanssa, ja myös käyttölämpötilalla on suuri vaikutus käytettäviin materiaaleihin. Esimerkiksi Parkerin 881HT-letkun minimikäyttölämpötila on  $-40\text{ °C}$  ja maksimikäyttölämpötila  $125\text{ °C}$  öljypohjaisille hydrauliiKANesteille, mutta ilmalle saman letkun maksimikäyttölämpötila on vain  $70\text{ °C}$ . [16, s. 166; 26, s. 19.]








Yksi käytetyimmistä letkustandardeista on SAE J517, joka tunnetaan SAE 100R -sarjana. SAE J517 jakaa letkut ryhmiin niiden rakenteen, paineenkeston ja käyttötarkoituksen mukaan. SAE 100R2 -ryhmään kuuluvat kahdella vahvikekerroksella valmistettavat letkut ovat yleisimmin käytettyjä hydrauliiKkaletkuja teollisuushydrauliikassa. Viime aikoina monet valmistajat ovat siirtyneet käyttämään ISO-standardeja, kuten letkujen paineluokitusta ISO 18752, mikä helpottaa toimintaa maailmanlaajuisilla markkinoilla. [14, s. 21, 26; 28.]

Letkujen koot ilmoitetaan yleensä niiden tuumamittaisen sisähalkaisijan (ID) mukaan toisin kuin putkissa, joissa käytetään metristä ulkohalkaisijan (OD) mitta. Taulukossa 2 näkyy esimerkki Manulin valmistamien Rockmaster/2CS letkujen teknisistä tiedoista, jotka täyttävät (tai jopa ylittävät) kompaktien korkeapaineletkujen standardien EN 857,

ISO 11237 ja SAE 100R16 vaatimukset. Näiden standardien mukaiset letkut ovat muuten hyvin samankaltaisia SAE 100R2 -letkujen kanssa, paitsi niille määritellyt minitaivutussäteet ovat pienempiä, jolloin ne voivat olla hyvä ratkaisu ahtaissa paikoissa. Seuraavassa on selvennetty valmistajan taulukossa 2 ilmoittamia tietoja:

- DN kertoo nominaalisen putkikoon, jolla ei ole mittayksikköä.
- Dash-koko kertoo letkun sisähalkaisijan 1/16" osissa.
- Inch tarkoittaa tuumamittaa ja kertoo letkun sisähalkaisijan.
- R.O.D. eli reinforcement outer diameter on vahvikeosan ulkohalkaisija.
- O.D. kertoo letkun ulkohalkaisijan.
- Max w.p. kertoo maksimityöpaineen eli letkulle sallitun maksimipaineen.
- Burst kertoo letkun räjähdyspaineen.
- Min. bend kertoo letkun minimitaivutussäteen, jota ei saa alittaa.
- Weight ilmoittaa letkun pituuspainon.

Taulukko 2. Manuli Rockmaster/2SC -letkut [muk. 29, s. H11 - 6.]

														
HOSE SIZE			R.O.D.		O.D.		MAX W.P.		BURST		MIN.BEND		WEIGHT	
DN	dash	inch	mm	inch	mm	inch	bar	psi	bar	psi	mm	inch	g/m	lb/ft
5	- 3	3/16"	9,7	0,38	11,5	0,45	420	6090	2000	29000	40	1,57	220	0,15
6	- 4	1/4"	11,3	0,44	13,1	0,52	400	5800	1850	26830	45	1,77	275	0,18
8	- 5	5/16"	12,9	0,51	14,7	0,58	350	5070	1700	24650	55	2,17	325	0,22
10	- 6	3/8"	15,0	0,59	16,8	0,66	330	4780	1500	21750	65	2,56	390	0,26
12	- 8	1/2"	18,5	0,73	20,3	0,80	275	3980	1220	17690	80	3,15	500	0,34
16	- 10	5/8"	21,8	0,86	23,6	0,93	250	3620	1050	15220	90	3,54	620	0,42
19	- 12	3/4"	25,6	1,01	27,6	1,09	245	3550	980	14210	120	4,72	790	0,53
25	- 16	1"	33,0	1,30	35,2	1,39	210	3040	840	12180	150	5,91	1180	0,79
31	- 20	1.1/4"	41,1	1,62	43,6	1,72	140	2030	560	8120	250	9,84	1550	1,04
38	- 24	1.1/2"	47,7	1,88	50,7	2,00	100	1450	400	5800	300	11,81	1880	1,26
51	- 32	2"	60,4	2,38	63,4	2,50	90	1300	360	5220	400	15,75	2430	1,63
63	- 40	2.1/2"	73,0	2,87	76,0	2,99	70	1010	300	4350	760	29,92	2900	1,95
76	- 48	3"	87,8	3,46	90,5	3,56	45	650	180	2610	900	35,43	3120	2,10

**CONTINUOUS SERVICE TEMPERATURE RANGE**

-40 °F / 212 °F

-40 °C / 100 °C

**MAX OPERATING TEMPERATURE**

125 °C, 257 °F

**TUBE**

Oil resistant synthetic rubber

**REINFORCEMENT**

Two high tensile steel braids

**APPLICABLE SPECS**

Exceed EN 857 2SC; ISO 11237 2SC; SAE 100 R16. In addition: DN 25 SAE 100 R17; ISO 11237 R17

**TYPE APPROVALS**

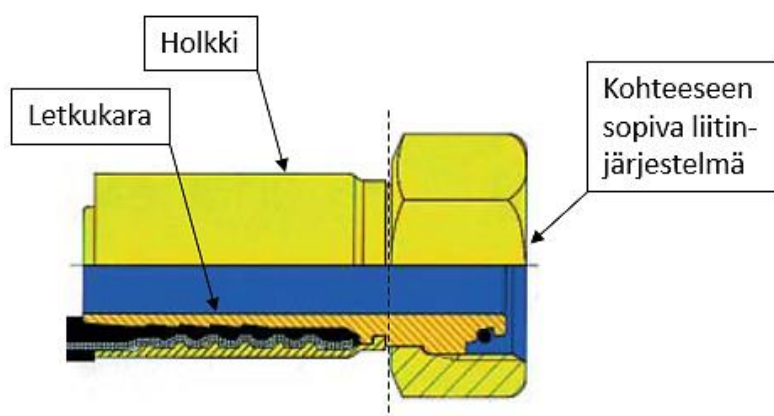
ABS; BV; DNV-GL; CU-TR; LR; MA; MSHA; RINA; B; FRAS; CCS

**COVER**

Synthetic rubber with high ozone, weather and heat resistance

Hydrauliikkaletku yhdistetään järjestelmään letkun päissä olevilla liittimillä. Liittimiä on kolmea tyyppiä, jotka ovat kuorittavat puristettavat, kuorimattomat puristettavat sekä kierrettävät liittimet. Puristettavat liittimet asennetaan letkun päihin erityistyökalulla, eikä niitä voida irrottaa letkun päistä. Kierrettävät liittimet voidaan asentaa letkuihin tavanomaisia käsityökaluja käyttäen. Kierrettävien liittimien käyttö on nykypäivänä vähentynyt, sillä uudemmat turvallisuusvaatimukset edellyttävät puristettavan liittimen käyttöä. Joissain matalan paineen sovelluksissa sekä imuletkuilla voidaan käyttää myös holkittomia liittimiä. [14, s. 41; 30, s. 2.]

Korkeapaineikäyttöön tarkoitetut letkuliittimet koostuvat ainakin kahdesta osasta, jotka ovat letkun sisälle tuleva letkukara ja letkun päälle tuleva holkki. Kuvassa 14 on esitetty letkun kuorimisen vaativa puristettava letkuliitin. Tässä tapauksessa letkun pintakerros kuoritaan kuorimakoneella holkin alueelta pois, jotta letkun vahvikekudos ei vahingoitu. Holkki puristetaan puristuskoneella letkun päälle, sillä tarvittava puristusvoima saattaa 2-tuumaisessa letkussa olla jopa 180 tonnia. [14, s. 41; 30, s. 2.]



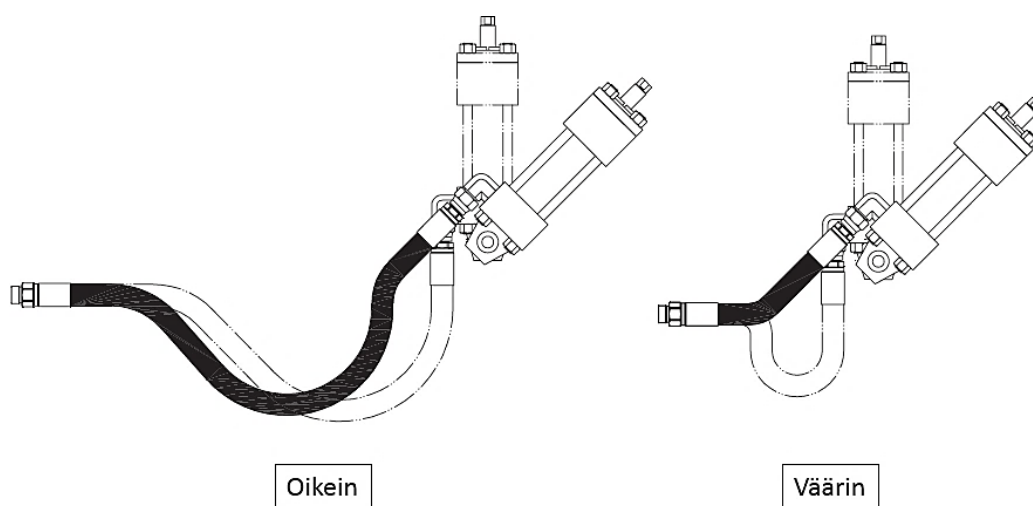
Kuva 14. Kuorittava puristettava letkuliitin [muk. 30, s. 2]

Erilaisia letkuliittimiä löytyy yhteensopivana useimpiin käytössä oleviin liitinjärjestelmiin. Lisäksi letkukaroja on saatavana suorana, 45° ja 90° kulmamalleissa. Metrisissä järjestelmissä käytetään usein ISO 12151-2 letkuliittimiä, joissa on 24° kartioon sopiva letkukaran pää, tiiviste ja liittimen mukana pysyvä kiristysmutteri. Näin voidaan letku liittää helposti vaikkapa "16 S-sarjan" liittimiin. Valmista letkua, johon on asennettu letkuliittimet päihin, kutsutaan letkuasennelmaksi. Letkuasennelmien pituus mitataan liittimien päiden keskiöiden välisenä letkun suuntaisena etäisyytenä. Käytettäessä kulmaliittimiä letkun molemmissa päissä, niiden välinen kiertokulma tulee määritellä. [14, s. 44, 72; 31, s. 1, 4.]



Letkuasennelman pituutta määriteltäessä on otettava huomioon paineen vaikutuksesta aiheutuva letkun pituuden lyhenemä. Tämä pituuden muutos on luokkaa 0 - 4 %, minkä takia letkuun täytyy jättää kaikissa tilanteissa ylimääräistä pituutta. Muussa tapauksessa liian lyhyeksi jätettyyn letkuun voi muodostua kova vetojännitys, mikä hajottaa letkuasennelman. Myös letkun kiertymistä pituusakselin ympäri asennuksen tai järjestelmän toiminnan aikana tulee välttää, sillä liiallinen kiertyminen vaurioittaa nopeasti letkun rakenteen. Kiertynyt letku pyrkii myös oikenemaan paineen alaisena, mikä saattaa johtaa letkuliitoksen auki kiertymiseen. Tällainen letkun kiertyminen syntyy helposti, jos letku taipuu liikkeessä useamman kuin yhden tason suuntaan. Jos letkun kiertymistä ei muuten voida välttää, voidaan käyttää pyörivää liitintä, joka sallii letkun kiertymisen ja vähentää letkuun kohdistuvaa vääntömomenttia. [14, s. 72 - 73; 16, s. 166; 32, s. 6 - 13.]

Letkua ei saa taivuttaa valmistajan määrittelemää minitaivutussädettä tiukemmalle mutkalle, tai muuten letku voi vaurioitua. Letkun päihin tulee myös jättää 1,5 kertaa letkun ulkohalkaisijan verran suoraa osuutta letkun liittimen ja taivutuksen alkamiskohdan välille. Letkuasennelma on suunniteltava riittävän pitkäksi, jotta toimilaitteen aiheuttama liike saadaan jaettua pidemmälle letkun osuudelle, josta on näytetty esimerkki kuvassa 15. Muuten letkun pituus ei välttämättä riitä, tai taivutussäteestä muodostuu liian pieni. [32, s. 6 - 8.]



Kuva 15. Liikkeen huomioiminen letkuasennelman pituudessa ja minitaivutussäteessä [muk. 32, s. 6]

Liikkuvassa sovellutuksessa taivutussäteellä, jolle letku joutuu päivittäin taipumaan, on suuri merkitys letkun käyttöiälle. Myös suuri taivutustaajuus alentaa letkun käyttöikää.

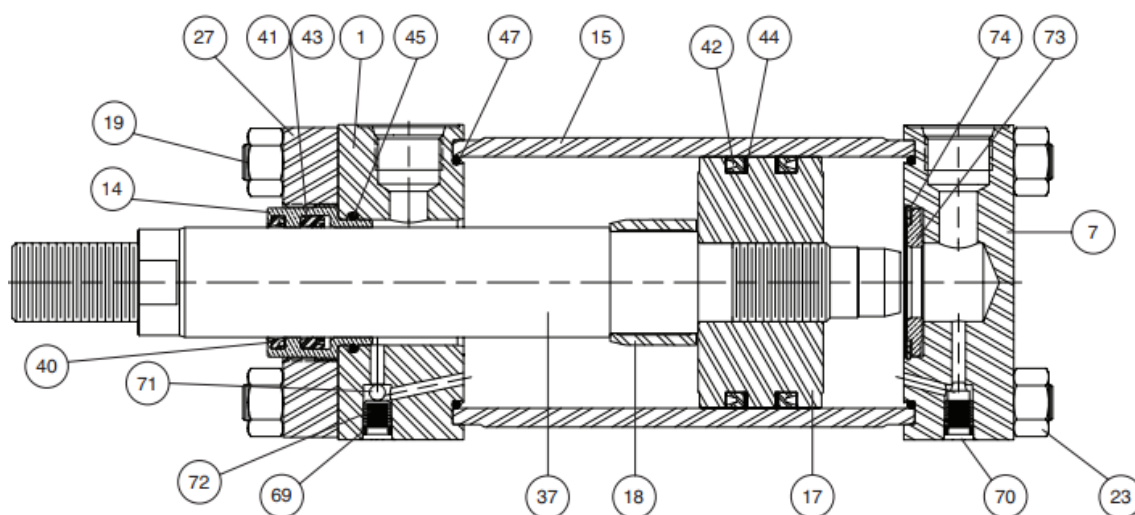
Alhaisissa lämpötiloissa, suurilla taivutustaajuuksilla ja taivutuskulmilla tulee käyttää letkun minimitaivutussädettä isompia taivutussäteitä. Letkut eivät ole ikuisia, ja letkujen vaihtoväliksi normaaleissa olosuhteissa suositellaan kolmesta viiteen vuotta, mutta tämä riippuu käyttöolosuhteista. [14, s. 76, 94; 32, s. 9 - 10.]

Letkurikko saattaa johtaa korkeapaineisiin nestesuihkuihin, jotka voivat olla lähistöllä olijoiille vaarallisia. Tämä pitää ottaa huomioon letkujen reititystä ja suojausta suunniteltaessa. Jos letkuasennelma räjähtää korkean paineen alaisena, saattavat liitinosat lentää ympäriinsä suurella nopeudella ja irtonainen letkun pää piiskata suurella voimalla. Jos tästä muodostuu riski, tulee harkita suojusten ja letkun pidättimien käyttöä haavereiden välttämiseksi. Jos paineella ohjattu laite muuttuu vaaralliseksi letku- tai putkirikon myötä, tulee järjestelmän toiminnan suunnittelussa ottaa huomioon myös nämä vikatilanteet. Esimerkiksi kuorman äkillistä putoamista voidaan välttää käyttämällä letkurikkoventtiiliä, joka sulkeutuu, kun venttiilin läpi menevä tilavuusvirta ylittää venttiiliin säädetyn arvon. [14, s. 96; 32, s. 2.]

### 3.6 Hydraulikkasyylinterit

Sylinterit ovat yleisimpiä hydraulikassa käytetyistä toimilaitteista, ja niillä muutetaan hydraulinen teho lineaariseksi liikkeeksi ja voimaksi. Sylinterit luokitellaan lineaarisiin toimilaitteisiin, joiden lisäksi on olemassa myös pyörivät toimilaitteet. Pyöriviin toimilaitteisiin lukeutuvat hydraulikkamoottorit, mutta niiden osuus käytetyistä hydraulikan toimilaitteista on sylintereihin verrattuna selvästi pienempi. Sylinterin toiminta perustuu mäntään, joka liikkuu sylinterin sisällä paineistetun öljyn vaikutuksesta. Hydraulikkajärjestelmässä sylinteri on usein ulospäin näkyvin komponentti ja monesti sitä pidetäänkin myös hydraulikan suunnittelun lähtökohtana. [16, s. 83; 33, s. 2.]

Sylinterit voidaan jakaa pääsääntöisesti kahteen perustyyppiin, jotka ovat yksitoimiset sylinterit ja kaksitoimiset sylinterit. Molemmissa tapauksissa sylinterin liikettä ohjataan hydraulisesti, mutta yksitoimisessa sylintereissä voima voidaan tuottaa vain yhteen suuntaan ja palautus toiseen suuntaan toteutetaan esimerkiksi jousen tai ulkoisen kuorman avulla. Kaksitoimisella sylinterillä voima ja liike voidaan tuottaa hydraulisesti molempiin suuntiin. Kaksitoimisen hydraulikkasyylinterin rakenteesta on näytetty esimerkki kuvassa 16. [33, s. 2; 34, s. 95.]



Kuva 16. Parkerin kaksitoimisen hydraulikkasynterinin rakenne sidepulttirakenteella toteutettuna [35, s. 76]

Yksinkertaisimmallaan sylinteri koostuu sylinteriputkesta (kuvassa 16 osa 15), männästä (osa 17), männänvarresta (osa 37) ja sylinterin päädyistä (osat 1, 7 ja 27). Sylinterin päätyjen kiinnitys sylinteriputkeen voi olla toteutettu sidepultein (osa 19), hitsaamalla, mankeloimalla, pulttiliitoksella tai kierteellä. Edellä näytetyssä kuvassa 16 näkyy esimerkki sidepulttirakenteella toteutetusta sylinteristä. Sen etuihin lukeutuu mm. helppo avattavuus huoltoa varten. Maailmanlaajuisilla markkinoilla noin 60 % hydraulikkasynteriereistä on kuitenkin valmistettu hitsattua rakennetta käyttäen. Hitsattujen sylinterien käyttö on suosittua esimerkiksi mobiilihydrauliikassa niiden kompaktimman rakenteen ansiosta. Hitsatut sylinterit myös kestävät yleensä korkeampia käyttöpaineita verrattuna sidepultteilla toteutettuihin ratkaisuihin. [33, s. 4 - 5; 36, s. 3; 37.]

Yksitoimiset sylinterit ovat kaksitoimisia vähemmän käytetty vaihtoehto, sillä niiden sovellutukset ovat hieman rajoittuneemmat. Palautusjousella varustettuja sylintereitä voidaan käyttää esimerkiksi jarru- tai pitosylinterinä. Myös teleskooppisylinterit, joita käytetään pitkien liikematojen toteutukseen kompaktilla ratkaisulla, ovat useimmiten yksitoimisia. Teleskooppisylinteri koostuu sisäkkäisistä putkista, jotka työntyvät paineen vaikutuksesta peräkkäin ulos, jolloin saadaan toteutettua pitkä liikemata esimerkiksi kuorma-auton lavan kipissä. [33, s. 2; 34, s. 96 - 98.]

Kaksitoimiset sylinterit ovat selkeästi eniten hydraulikkassa käytetty vaihtoehto ja ne kattavat noin 75 % hydraulikkasynterien maailmanlaajuisesta markkinaosuudesta. Kaksitoimiset sylinterit voidaan jakaa läpimenevällä männänvarrella ja yksipuolisella männän-

varrella valmistettaviin sylintereihin. Läpimenevässä mallissa männänvarsi tulee ulos sylinterin molemmista päistä. Tällöin männän molemmilla puolilla on yhtä suuret pinta-alat, jolloin sylinterin voima ja liikenopeus ovat yhtä suuret molempiin suuntiin samalla tilavuusvirralla ja paineella. [36, s. 3.]

Sylintereitä, joissa männänvarsi tulee ulos vain toisesta päädyistä, kutsutaan differentiaalisylinteriksi. Tällöin männän ja männänvarren puolella on erisuuret pinta-alat, koska männänvarren puolella varren poikkipinta-ala on vähennettävä männän pinta-alasta. Tämän takia ulosliikkeessä sylinterin voima on suurempi ja liikenopeus hitaampi verrattuna paluuliikkeeseen, jolloin sylinterin voima on pienempi ja liikenopeus suurempi samalla tilavuusvirralla ja paineella. [33, s. 4; 36, s. 3.]

Sylinterien tärkeimmät päämitat ovat männän halkaisija, männänvarren halkaisija ja iskunpituus. Muita huomioon otettavia seikkoja ovat mm. porttien koot ja tyypit, sylinterin kiinnitystapa, männänvarrenpään kiinnitystapa ja käytettävät tiivistesarjat. Sylinterien halkaisijamittoja ja kiinnitystapoja on standardoitu yleisesti käytössä oleville sylintereille vaihtokelpoisuuden parantamiseksi standardissa ISO 6020 (160 bar -sarjalle) ja ISO 6022 (250 bar -sarjalle). Markkinoilla on myös paljon sylintereitä jotka eivät täysin noudata standardimitoitusta, tai jotka on räätälöity erikoissovellukseen.

### 3.7 Venttiilit ja lohkot

Yksi hydraulikkajärjestelmien keskeisimmistä asioista on järjestelmän ohjauksen toteutus, millä hydraulikkajärjestelmä saadaan suorittamaan halutulla toimintoja. Hydraulikkajärjestelmän luotettavan toiminnan kannalta onkin tärkeää valita oikeat ohjauskomponentit kuhunkin tilanteeseen. Hydraulikkanesteen ohjauksessa käytetään yleensä erilaisia venttiileitä, joiden valinnassa on otettava huomioon mm. venttiilin koko, tyyppi, toiminta-, ohjaus-, ja kiinnitystapa. [16, s. 93.]

Venttiilit voidaan jakaa hydraulisen toiminnan mukaan seuraaviin ryhmiin:

- suuntaventtiilit
- paineventtiilit
- virtaventtiilit
- vastaventtiilit
- muut venttiilit. [38.]

Suuntaventtiileitä käytetään ohjaamaan öljyn virtausta toimilaitteille tai muualle järjestelmään. Suurin osa suuntaventtiileistä on niin kutsuttuja aksiaaliluistiventtiilejä ja loput harvemmin käytetyt vaihtoehdot joko istukkatyypisiä, tai kiertoluistiventtiilejä. Suuntaventtiilin toiminta perustuu sen sisällä liikkuvaan luistiin tai karaan, jonka asennosta riippuen venttiilin sisällä avataan ja suljetaan kanavia. Näin venttiilillä voidaan vaihdella öljyn virtauksen kulkua liittynästä toiseen, sekä estää tai sallia öljyn virtaus tietyssä kanavassa. Yleisimmin käytetyissä suuntaventtiileissä on kaksi tai kolme karan eri asentoa ja kaksi tai neljä liityntää. [38; 39, s. 2.]

Paineventtiileillä säädetään tai rajoitetaan öljyn painetta, minkä avulla voidaan rajoittaa voimia ja suojata rakenteita ja komponentteja ylipaineesta aiheutuvilta rasituksilta. Painepeikkejä voi aiheutua esimerkiksi venttiilin avautumisesta ja sulkeutumisesta, jolloin hetkellinen öljyn paine voi nousta jopa nelinkertaiseksi järjestelmän tavanomaiseen paineeseen verrattuna ilman paineenrajoitusventtiiliä. Paineohjausventtiileihin lukeutuvilla kuormanlaskuventtiileillä voidaan hallita taakan laskentaa ja pitää kuorma paikallaan, tai estää sen hallitsematon karkaaminen. [16, s. 94, 113; 38.]

Virtaventtiileillä säädetään nesteen tilavuusvirtaa, millä vaikutetaan toimilaitteiden liikenopeuksiin. Tilavuusvirtaa voidaan säätää virtavastusventtiileillä, jotka kuristavat virtausta virtausaukon poikkipinta-alaa muuttamalla. Tämän tyyppin venttiileillä tilavuusvirran määrä riippuu venttiiliin yli vaikuttavasta paine-erosta. Tarkempaa säätöä varten voidaan käyttää painekompensoituja virransäätöventtiileitä, jotka pitävät tilavuusvirran vakiona paine-eron muutoksista huolimatta. Useamman toimilaitteen tahdistukseen voidaan käyttää virranjakoventtiiliä, joka jakaa yhden linjan tilavuusvirran kahteen linjaan yhtä suurena. Vastaventtiileillä käytetään sallimaan virtaus venttiilin läpi vain yhteen suuntaan. [16, s. 114 - 115; 38.]

Venttiilit voidaan lisäksi jaotella asennustavan ja rakenteen mukaan seuraaviin ryhmiin:

- putkistoasenteiset venttiilit
- lohkoventtiilit
- pohjalaatta-asenteiset venttiilit
- patruunaventtiilit. [38.]

Putkistoasenteiset venttiilit asennetaan liittimillä suoraan putkistolinjaan, ja ne ovat yleensä yksittäisiä komponentteja, kuten erilaisia sulk- tai virtaventtiileitä. Lohkoventtiilit pinotaan moduuleista yhteen kompaktiksi paketiksi ja niiden käyttö on suosittua erityisesti ajoneuvoissa, sillä näin saadaan paljon erilaisia venttiileitä mahtumaan pieneen tilaan. Teollisuushydrauliikassa suositaan pohjalaatta-asenteisia venttiileitä, jotka pinotaan päällekkäin yhteisen pohjalaatan päälle, mikä vähentää tarvittavan putkituksen ja liittimien määrää. Pohjalaatta-asenteiset venttiilit on jaettu nimelliskokoihin NG 4, 6, 10, 16, 25, 32 ja 63, joista NG6 ja NG10 ovat yleisimmin käytetyt koot. [38.]

Patruunaventtiili asennetaan lohkon tehtyyn patruunaporaukseen ja niitä käytetään paljon tiettyyn tarkoitukseen räätälöityjen hydrauliikkalohkojen kanssa. Räätälöidyt lohkot vaativat enemmän suunnittelutyötä, mutta niillä voidaan saavuttaa kaikkein kompakteimmat ratkaisut. Kuvassa 17 on esitetty eräs esimerkki lohkoista, joka on suunniteltu käytettäväksi lumiauran kääntösynterierien ohjauksen yhteydessä. [16, s. 130 - 131; 38.]



Kuva 17. Hydrauliikkalohko lumiauran hydrauliikkasynterierien venttiileille

Kuvan lohkon yläpinnassa on keskellä paikat kahdelle pohjalaatta-asenteiselle NG6-koon suuntaventtiilille ja päädyissä paikat kahdelle patruunatyypiselle paineenrajoitusventtiilille, joita käytetään iskuissa rajoittamaan painepiikkejä. Lisäksi lohkoissa on tarvittavat portit toimilaitteille, paine- sekä tankkilinjalle ja reiät lohkon kiinnitystä varten.

## 4 Pneumatiikkajärjestelmät

Pneumatiikkajärjestelmien toimintaperiaatteet ovat pitkälti samankaltaiset hydrauliiikkajärjestelmien kanssa, mutta niillä on omat erityispiirteensä. Pneumatiikkajärjestelmissä käytetään paineistettua ilmaa työtoimintojen suorittamiseen hydrauliiikassa käytetyn paineistetun nesteen sijaan. Pneumatiikkajärjestelmien käyttö yleistyi nopeasti toisen maailmansodan jälkeen tehtaiden ja tuotantolaitosten automaatioasteen kasvaessa. Nykyään pneumatiikkaa käytetään ympäri maailmaa joka teollisuudenalalla, koska sen avulla voidaan automatisoida toimintoja suhteellisen pienillä kustannuksilla. [40, s. 19; 41, s. 1.]

### 4.1 Pneumatiikkajärjestelmien ominaisuudet

Pneumatiikkajärjestelmillä on monia hyviä puolia, joista voidaan mainita seuraavia:

- yksinkertainen rakenne ja toteutus
- korkea luotettavuus
- nopeat liikkeet
- ylikuormituksen ongelmattomuus
- helppo varastointi
- tarvittaessa hyvä liikuteltavuus paikasta toiseen
- helppo kunnossapito
- ilman laaja saatavuus
- hyvä palon- ja räjähdyskesto. [41, s. 2; 42, s. 5; 40, s. 21.]

Järjestelmien välistä hintaa verrattaessa hydrauliiikan komponentit saattavat olla 5 - 10 kertaa pneumatiikkakomponentteja kalliimpia. Lisäksi pneumatiikassa voidaan usein käyttää suhteellisen edullisia muoviputkia hydrauliiikassa käytettyjen teräsputkien ja korkeapaineliittimien sijaan. Pneumatiikassa ei myöskään tarvita paluulinjaa tankkiin, vaan toimilaitteelta poistuva ilma voidaan päästää ympäröivään ilmakehään. [40, s. 20.]

Pneumaattinen energia on helppo varastoida tankkiin ja suhteellisen pienen paineilma-kompressorin tuotto riittää tapauksissa, joissa ilmaa kuluu vain hetkellisesti suuria määriä. Paineilmaa on hydrauliiikkanesteeseen nähden helpompi siirtää pidemmänkin matkan päähän sen pienen dynaamisen viskositeetin eli virtauskitkan sekä paluulinjan puutumisen ansiosta. Paineilmalaitteet ovat myös varmatoimisia melko suurella lämpötila-alueella ja niiden liikenopeudet ja voimat on helppo säätää. [40, s. 21; 42, s. 4 - 5.]

Näistä hyvistä ominaisuuksista huolimatta pneumatiikkajärjestelmillä on tiettyjä ominaispiirteitä, jotka tekevät niistä epäsoivia kaikkiin tilanteisiin. Ainakin seuraavat asiat kannattaa ottaa pneumatiikkajärjestelmissä huomioon:

- Ilma puristuu paineen alaisena kokoon, jolloin tasaista liikettä on vaikea saada aikaan, tai on käytettävä lisäksi nestevakautusta.
- Yleensä pneumatiikkaa ei kannata käyttää suurten voimien aikaan saamiseen.
- Käytettävän ilman on oltava puhdasta ja kuivaa.
- Poistoilma aiheuttaa jonkin verran melua, mutta sitä voidaan pienentää äänenvaimentimilla. [40, s. 21; 41, s. 2; 42, s. 5.]

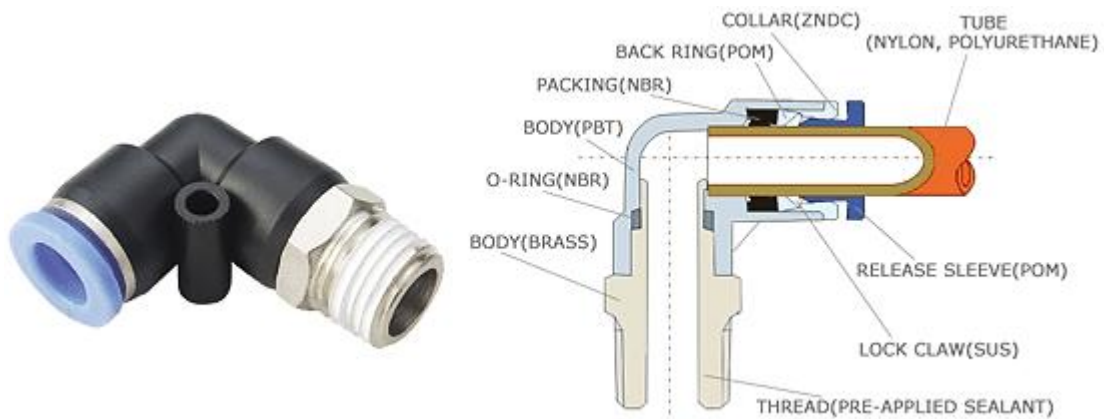
Pneumatiikalla on periaatteessa enemmän etuja kuin hydraulikalla, mutta pneumatiikkajärjestelmillä ei voida korvata hydraulikkajärjestelmillä saavutettavia tarkkoja liikkeitä ja suuria voimia. Pneumatiikassa käytetään suhteellisen alhaisia paineita, jotka ovat luokkaa 5 - 10 bar, kun taas hydraulikassa paine voi olla useampi sata baaria, jolloin samankokoisella sylinterillä saavutetaan paljon isompia voimia. [41, s. 2; 42, s. 5.]

#### 4.2 Pneumatiikkaputket, -letkut ja -liittimet

Koska pneumatiikassa käytetään pääsääntöisesti paljon hydraulikkaa matalampia paineita, voidaan pienemmillä putkikoilla käyttää muoviputkia teräsputkien sijaan. Esimerkiksi Feston tavallinen polyuretaanista valmistetun taipuisan muoviputken isoin koko on 16/11 mm (OD/ID) ja sen paineenkesto on -0,95 - 10 bar, mikä riittää useimpiin sovelluksiin. Muoviputkia on saatavissa monissa eri materiaaleissa ja väreissä, sekä esimerkiksi spiraalille muotoiltuna. Isoimmilla ko'illa voidaan käyttää letkuja tai teräsputkia samaan tapaan kuin hydraulikassa. [43.]

Useimpia hydraulikkaliittimiä voidaan käyttää sellaisenaan myös pneumatiikassa ilman ongelmia, mutta pneumatiikkaa varten on kehitetty paljon erityisesti siihen suunniteltuja kevyempiä ja nopeammin asennettavia liitinjärjestelmiä. Eräs tällainen yleisesti käytetty järjestelmä ovat pistoliittimet, joita käytetään edellä kuvatun kaltaisten muoviputkien kanssa. Liittimet mitoitetaan putkien ulkohalkaisijan mukaan ja pistoliittimiä on saatavana 2 mm välein vakioko'oissa 4 - 16 mm. Kuvassa 18 on esitetty erään porttiin asennettavan pyöritettävän kulmamallisen pistoliittimen rakenne. [43.]

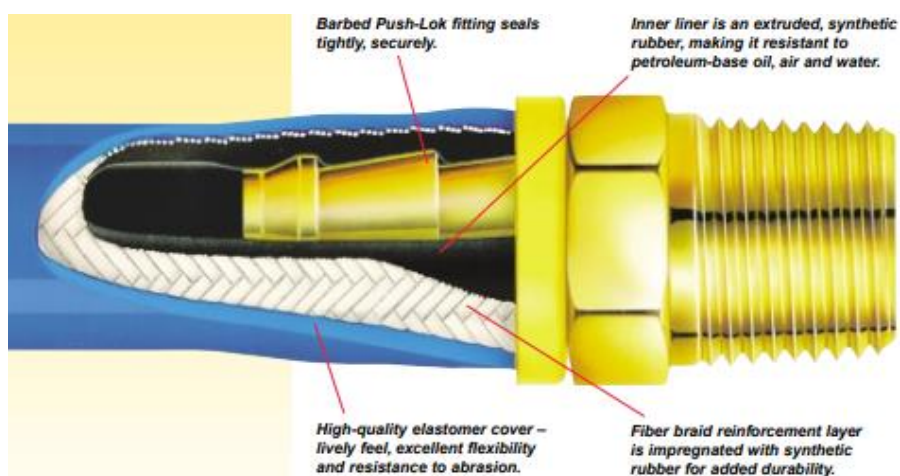




Kuva 18. Kulmamallin pistoliitin portista lähtöä varten [44]

Putkiliitoksen tekeminen pistoliittimellä on yksinkertaista, sillä putki vain työnnetään liittimeen sisälle, minkä jälkeen kumitiiviste tiivistää liitoksen ja metalliset lukituskyynnet pitävät putken liittimessä. Liitos saadaan purettua painamalla irrotuskaulusta ja vetämällä putki pois liittimestä. Pneumatiikan kierrelitioksissa voidaan käyttää suoraa BSPP-kierrettä kumitiivisterenkaan kanssa, tai yllä kuvassa 18 näkyvää kartiomaista BSPT-kierrettä tiivisteaineen kanssa, joka on useimmiten liima. [43.]

Pneumatiikassa käytettävät letkut ovat usein yhdellä ristikudosvahvikekerroksella vahvistettuja muoviletkuja, joista eräs esimerkki on kuvassa 19 näkyvä Parkerin Push-Lok letku. Näitä letkuja on saatavissa ko'oissa 1/4" - 1" maksimityöpaineen vaihdellessa välillä 12 - 24 bar. Letku liitetään letkuliittimeen työntämällä se uritetun letkukaran päälle, jossa se pysyy sen jälkeen tiukasti kiinni. Letkuliittimen irrottamista varten täytyy letku halkaista letkukaran päältä. [45.]



Kuva 19. Parker Push-Lok paineilmaletku ja -liitin järjestelmä [45]

## 5 Varustelusuunnittelu

Varustelusuunnittelulla (englanniksi outfitting) tarkoitetaan yleisesti mekaaniseen rakenteeseen tai laitteeseen tulevien järjestelmien komponenttien ja varusteiden suunnittelua. Seuraavassa kerrotaan omiin kokemuksiin pohjautuen lyhyesti tähän työhön liittyvien Valmetin paperikoneiden varustelusuunnittelusta yleisellä tasolla.

### 5.1 Paperikoneiden varustelusuunnittelu

Yksi varustelusuunnittelun keskeisistä osa-alueista on teollisuuden hydraulikkajärjestelmät, sillä esimerkiksi rullaimissa ja pituusleikkureissa käytetään paljon hydraulikkasyylintereitä erilaisten liikkeiden ja toimintojen suorittamiseen. Toinen laaja varustelusuunnittelun osa-alue ovat pneumatiikkajärjestelmät, sillä mm. pneumatiikkasyylintereitä käytetään monien kevyempien laitteiden liikkeisiin. Lisäksi rainan päävientiössä ja pölynpoistossa käytetään erilaisia ilmapuhalluksia ja imujärjestelmiä. Myös kiertovoitelujärjestelmät sekä laakereiden ja johteiden keskitetyt rasvavoitelujärjestelmät kuuluvat varustelun piiriin.

Näiden lisäksi varusteluihin sisältyvät erilaiset kuuma- ja märkäliimajärjestelmät, sekä esimerkiksi korkeapainevesijärjestelmä vesivaihtolaitteen yhteydessä. Sähkökaapeleiden reitit ja sähkömoottorikäyttöjen isommat virtakaapelit tulisi myös ottaa varustelussa huomioon, vaikka kaikkien sähköjohtojen tarkkaa suunnittelua ei yleensä tehdäkään.

Varustelusuunnittelun voi ajatella asettuvan automaatio- ja fluidisuunnittelun, sekä mekaniikkasuunnittelun välimaastoon. Varustelusuunnittelussa luetaan piirikaavioita ja keskustellaan piirien toteutuksista ja komponenteista automaatiosuunnittelun suuntaan. Samaa aikaa varustelun pohjana ovat mekaniikkasuunnittelussa syntyvät mallit, joiden päälle varustelu sovitetaan. Mekaniikkasuunnitteluun päin ollaan yhteydessä mm. tilatarpeista ja muutoksista layoutissa, sekä esimerkiksi tarvittavien kannakereikien ja läpivientien paikoista koneen rungolla.

Varustelumalleissa esitetään toimilaitteille menevät letkut, putket ja liittimet. Lisäksi mallinnetaan venttiilipaneelilta tuleva kenttäputkisto ja suunnitellaan putkistojen kannakoinnit, sekä kaapelihyllyreitit putkia, letkuja ja sähkökaapeilta varten. Myös venttiilipaneelit, sekä niihin kuuluvat putkistot ja komponenttien sijoittelu kuuluvat varustelusuunnitteluun.

Lisäksi varustelijasuunnittelija vastaa hydraulikkasynterien varustelumalleista ja tarvittaessa suunnitellaan myös mm. uusia pohjalaattoja ja venttiililohkoja.

Hydrauliikkasynterin varustelumallissa esitetään synterille tulevat hydraulikkakomponentit synterin mekaniikkamallin päällä. Näihin varusteluihin kuuluvat synterille tulevat liittimet, putkitukset, kannakkeet, lohkot ja venttiilit. Mekaanisesti samaa synteriä saatetaan käyttää eri kohteissa erilaisilla varusteluilla. Varustelumallilla varmistetaan tarvittavat komponentit ja niiden yhteensopivuus. Lisäksi siitä tehtävä varustelupiirustus toimii ohjeena kokoonpanossa.

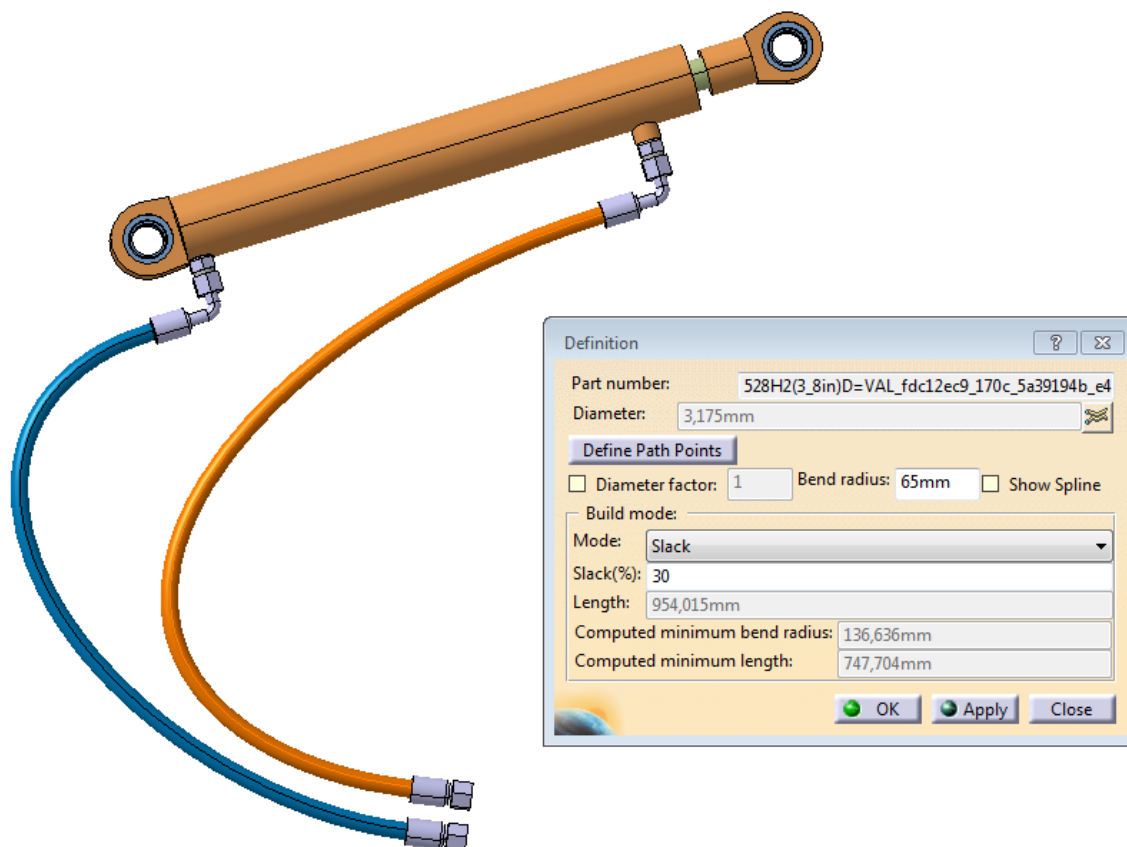
Synterin varustelumallin suunnittelussa keskeisimpiä asioita on varmistaa hydraulikan luotettava toiminta fluidisuunnittelun tarkoittamalla tavalla sekä komponenttien sijoittelu niin, että ne mahtuvat olemaan kohteessa varatussa tilassa. Ahtaissa paikoissa saattaa haasteeksi komponenttien sijoittelun lisäksi muodostua synterille tulevien letkujen reititys varsinkin, jos synterin rungon liike on sen toiminnan aikana suuri. Kun varustellun synterin tilantarve ja letkujen reititys on varmistettu synterin eri asennoissa, voidaan määritellä tarvittavien letkuasennelmien pituudet ja letkukarojen kulmat.

## 5.2 Suunnittelumenetelmät Valmetin järjestelmissä

Valmetilla 3D-mallinnukseen käytetään Catia CAD-ohjelmaa. Varustelumalleihin haetaan pohjalle tarvittavat koneen mekaniikkamallit. Varustelun osat kuten venttiilit, liittimet ja kannakkeet tuodaan mallikirjastoista, ladataan valmistajan sivuilta, tai mallinnetaan itse, jos sopivaa valmista mallia ei ole saatavilla. Putkien ja letkujen mallintamiseen käytetään Catian ”tubing” ja ”piping” -lisäosia. Näihin lisäosiin on määritelty Valmetin varusteluissa käytettävät peruskomponentit, kuten liittimet, letkut ja putkistot oikeine parametreineen.

Nämä Catian lisäosat nopeuttavat ja parantavat letkujen ja putkistojen suunnittelua. Letkut voidaan mallintaa liittimestä toiseen annetun pituuden mukaan, jolloin Catia simuloi niiden reitin kuvassa 20 esitettyyn tapaan. Näin pystytään letkujen minimitaivutussäteet ja pituudet tarkistamaan Catian luomasta letkumallista. Myös putkistojen mallintaminen on nopeampaa, koska Catia tunnistaa putkikannakkeet ja liittimet, jolloin putkireitit saadaan mallinnettua paikoitetusta liittimestä toiseen. Malli ottaa mutkissa huomioon erilai-

silla taivutustyökaluilla saavutettavat taivutussäteet ja minietäisyydet annettujen parametrien ja valitun putkikoon mukaan. Jos toimituksessa käytetään valmisputkia eli ennen kokoonpanoa valmiiksi automaattisella taivutuskoneella tehtäviä putkia, myös niiden piirustukset saadaan luotua.



Kuva 20. Catian "tubing" -työkalu ja letkun mallinnus

Kustakin varustelumallista tehdään varustelupiirustus myöskin Catialla, johon merkitään tarpeelliset osien, putkistojen ja letkujen tunnuksot, sekä mitoitetaan kannakkeiden ja komponenttien paikkoja. Piirustuksien lisäksi itse varustelun 3D-mallia saatetaan nyky-päivänä käyttää apuna kokoonpanossa, sillä siitä voi olla helpompi hahmottaa mm. putkireittien kulku. Valmiit piirustukset ajetaan Valmetin PDM-järjestelmään, mistä ne lähtevät ostoissa alihankkijoille ja löytyvät myös myöhemmin projektien hakemistojen alta. Samaan PDM-järjestelmään luodaan myös kaikki varustelujen osaluettelot, jotka koostuvat sekä markkinoilla olevista valmisosista että piirustuksen mukaan valmistettavista osista.

## 6 Base-pituusleikkurin varustelumallin kehitys- ja suunnittelutyö

### 6.1 Hydraulikkasynterien varustelumallien päivitys

Työn ensimmäisessä vaiheessa päivitettiin rullausosan hydraulikkasynterien varustelumallit. Tämän vaiheen lähtökohtana olivat pääasiassa vuonna 2011 vanhempaan leikkurimalliin tehdyt mallit ja kuvat. Synterien mekaniikkamalleihin tulleet muutokset mallinnettiin varusteluissa käytettäviin syntereihin. Myös synterien varustelumallien rakenne ja logiikka muutettiin vastaamaan nykykäytäntöjä. Lisäksi poistopöydän ja painotelan synterien varusteluissa havaittuihin ongelmakohtiin suunniteltiin uusia ratkaisuja. Myös hylsylukkojen synterin varusteluun tehtiin parannuksia.

#### 6.1.1 Hydraulikkasynterien mallinnus

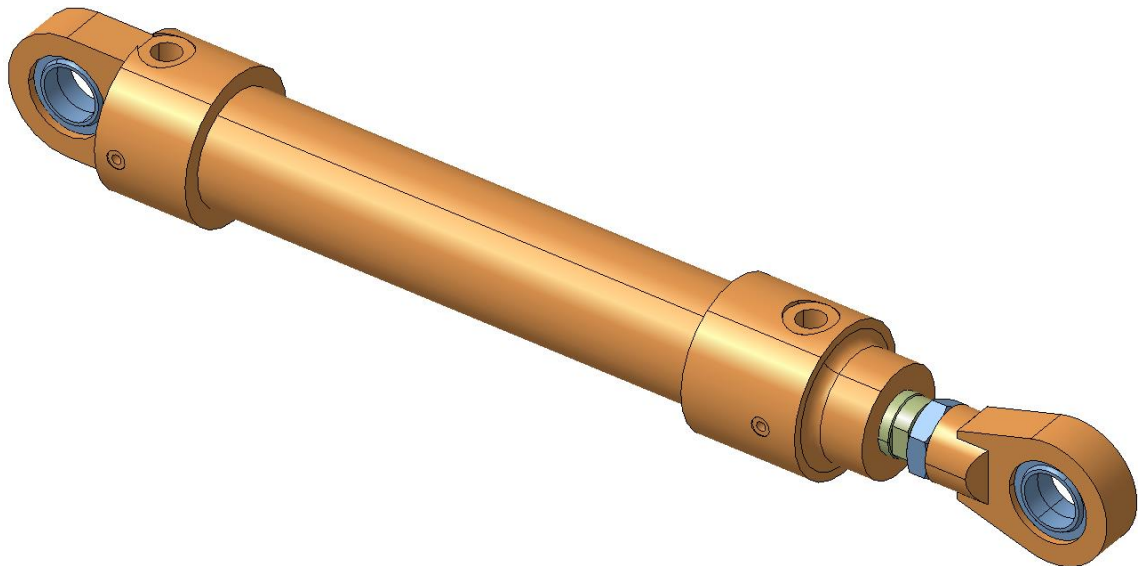
Yleisellä tasolla kaikista käytetyistä hydraulikkasyntereistä tehdään 3D-mallit riittävällä tarkkuudella, jotta synterien kiinnityksien suunnittelu, tilantarvetarkastelu ja varustelu suunnittelu voidaan tehdä onnistuneesti. Lisäksi syntereistä on olemassa mittapiirustukset, joissa esitetään synterin päämitat, porttien sijoitukset ja koot, sekä esimerkiksi nivellaakereiden ja tiivistesarjojen tyypit. Mitoituksissa huomioidaan valmistajien synterimalleissaan käyttämät periaatteet. Synterit tilataan näiden piirustuksien pohjalta, jolloin eri valmistajilta saadaan suunnitelluilla mitoilla olevia ja vaihtokelpoisia syntereitä.

Base-pituusleikkurin hydraulikkasynterien kohdalla on siirrytty käyttämään uutta toimittajaa, joka käyttää syntereissään hieman eri mitoituksia verrattuna Valmetin yleisesti käyttämiin synterien mittapiirustuksiin. Tämä aiheutti muutosvaiheessa ongelmia näiden syntereiden ottaessa kiinni kannakkeisiinsa ja varustelussa käytettyjen osien ollessa osittain synteriin epäsopivia. Koska näitä synterintereitä tullaan käyttämään Base-leikkureissa, päätettiin uudet synterien varustelumallit tehdä näille syntereille pohjautuviksi. Näille syntereille tehtyjen varustelumallien pitäisi sopia ilman ongelmia myös aikaisemmin käytettyihin syntereihin.

Uusien sylinterien mitoitukset tarkistettiin valmistajalta saaduilla piirustuksilla Valmetin mittapiirustuksia vastaan. Vertailun tuloksena voidaan uusista sylintereistä todeta seuraavia havaintoja verrattuna vanhoihin sylintereihin:

- Toiminnalliset mitat kuten iskunpituus, silmukoiden etäisyydet ja koot, kiinnitystapa, sekä männän ja männänvarren halkaisijat täsmäävät.
- Sylinteriputkien ja päätyosien ulkohalkaisijat ovat pääsääntöisesti noin 5 mm isompia, eli sylinterit ovat paksuseinäisempiä.
- Porttien koot ja suuntaukset täsmäävät, mutta tarkka etäisyys sylinterin päädyistä ja pinnasta saattaa hieman erota.
- Sylinterit on toteutettu samoilla periaatteilla eli hitsatuilla rakenteilla, paitsi rullantyöntimen sylinterin tapauksessa, jossa molemmat päädyt ovat kiinnitetty pulttiliitoksella. Osassa tapauksista varrenpuolen pääty on kiinnitetty pulttiliitoksen sijaan kierteellä.
- Osa porteista on toteutettu koneistetun upotuksen sijaan hitsatulla putkenpätkällä tapauksissa, joissa käytetään kierrettä sylinterin päädyn liittämiseen.

Uudet sylinterit mallinnettiin saatujen mittojen mukaan tarpeellisella tarkkuudella. Rullantyöntimen sylinterin malli näkyy esimerkkinä kuvassa 21. Siinä on jätetty yksittäiset pultin päät mallintamatta ja ne on sijaan sisällytetty geometrian ulkomittoihin.



Kuva 21. Uusi rullantyöntimen hydraulikkasylinterin 3D-malli

Sylinterien iskun asento on parametrisoitu 3D-malleissa, jolloin sylinterin mäntä voidaan parametrin avulla ohjata haluttuun asentoon. Kaiken kaikkiaan erilaisia sylintereitä mallinnettiin 12 kpl, joista osa kuului myös aukirullausosaan.

### 6.1.2 Hydraulikkasyylinterien varustelujen päivitykset yleisesti

Vanhat sylinterien varustelumallit oli tehty sillä periaatteella, että niiden varustelumalleihin oli sisällytetty myös letkut ja läpivientikannakkeet. Uusiin malleihin nämä päätettiin eriyttää sylinterien varusteluista ja siirtää koneen rungon varustelun piiriin, mikä on yleisesti tällä hetkellä käytössä oleva tapa. Noin puolessa tapauksista varustelumallien päivityksissä selvittiin vaihtamalla niihin uudet mallinnetut sylinterit ja korjaamalla lähtöliittimien paikat ja putkitukset oikeaan kohtaan. Lisäksi varustelujen kannakoinneissa käytetyt T-pulttikiristimet vaihdettiin Kiinan markkinoilla myytäviin kiristinmalleihin ja isoimmille sylinterin ulkohalkaisijoille oikean kokoisiksi.

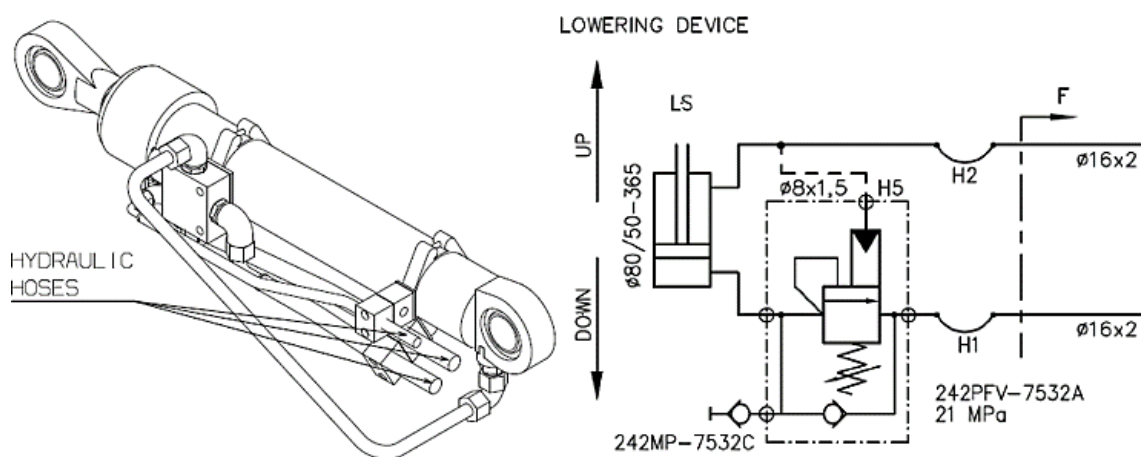
Lisäksi ylimääräiset letkuosat poistettiin ja luotiin sylinterien varustelujen päivitetty osaluettelot ja piirustukset. Varustelukuviin lisättiin myös fluidipuolen osaluetteloilla tilattavien osien kuten venttiilien osanumerot selkeyttämään kokoonpanoa, jolloin kaikki sylinterin varustelun osat ovat esitettynä yhdessä paikassa. Kaikkien sylinterien varustelumallit suunniteltiin ja tarkistettiin tuoreimpien Base-leikkurin mekaniikkamallien kanssa.

Näiden suhteellisen suoraviivaisten tapauksien lisäksi muutaman sylinterin kohdalla päädyttiin tekemään hieman enemmän kehitystyötä. Tähän vaikutti osaltaan kokoonpanossa havaitut epäkohdat aikaisemmissa sylinterien varusteluissa, vähäiset tilat sylinterien ympärillä, komponenttien päivitykset ja muutokset ympäristössä. Seuraavassa käydään läpi tarkemmin näiden tapauksien varustelusuunnitteluprosesseja.

### 6.1.3 Poistopöydän hydraulikkasyylinterin varustelusuunnittelu

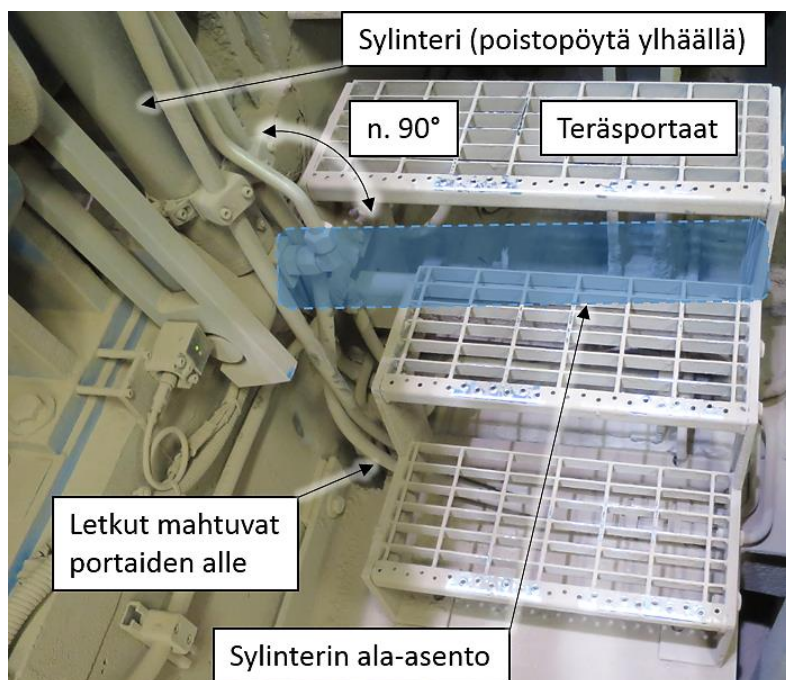
Poistopöydän hydraulikkasyylintereillä käännetään poistopöytä ylös huoltotöitä varten ja ne ovat yksi uusi lisäys Base-leikkuriin. Poistopöydän sylinterin hydraulikkakaaviosta on esitetty sylinterin kohta kuvassa 22 oikealla. Sylinteri nostaa poistopöytää ulosliikkeessä painovoimaa vastaan, minkä takia paluuliikkeellä käytetään pilotilla ohjattua kuormanlaskuventtiiliä, joka myös pitää kuorman hallinnassa letkurikon sattuessa. Sylinterin kenttäputket ovat kooltaan 16 mm ja sylinterille tulevat 1/2" letkut H1 ja H2.

Kuvassa 22 vasemmalla näkyy aikaisemmissa koneissa käytetty poistopöydän sylinterin varustelumalli, jossa sylinteriltä lähtee letkujen H1 ja H2 lisäksi myös pilottilinjan letku H5. Tähän oli mietitty uusi, jo tähän hydraulikkakaavioon päivitetty muutos, jossa pilottilinja H5 yhdistetään T-haaralla ja 8 mm putken pätkällä linjasta H2 venttiililohkolle.



Kuva 22. Poistopöydän hydraulikkasynterinin vanha varustelu (kuvassa vas.) ja uudempi hydraulikkakaavio (kuvassa oik.)

Poistopöydän sylinterit ovat normaalisti melkein vaaka-asennossa rullaustelojen syvänteeseen johtavien portaiden yläpuolella. Kun poistopöytä nostetaan ylös, sylinterit kääntyvät noin 90° pystyasentoon, mikä on esitetty kuvassa 23. Poistopöydän sylinterien alapuolella on aikaisemmissa koneissa ollut teräsportaat ja hydraulikkaletkut on saatu vietyä portaiden ja seinän välistä portaiden alle. Näin on letkuille saatu järjestettyä liikumatilaa sylinterin isoa liikettä varten, sillä kuvan tapauksessa sylinteri työntää letkuja las-kuliikkeessa ja vetää niitä nousuliikkeessä.



Kuva 23. Erään vanhemman toimituksen poistopöydän sylinteri ja teräsportaat [muk. 8]



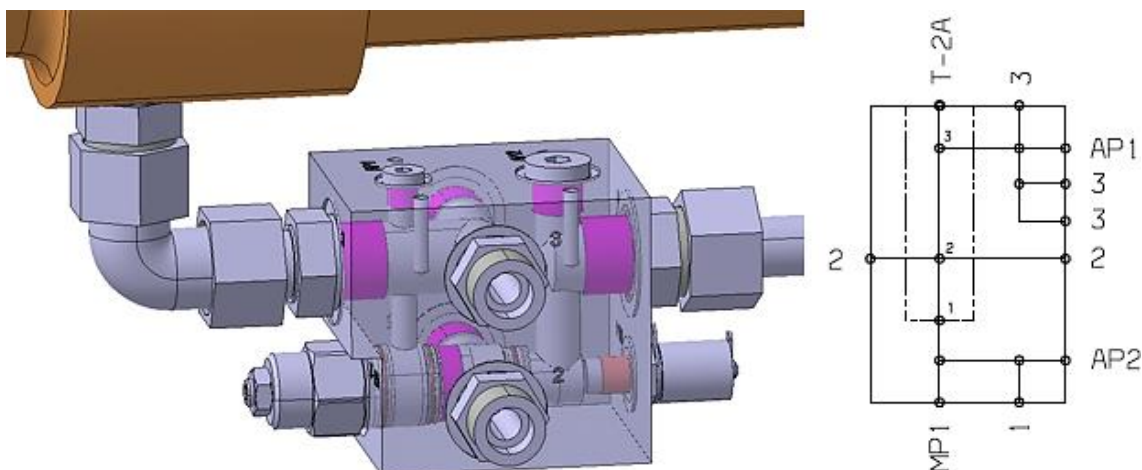
Base-leikkureissa käytetään teräsportaiden sijasta umpinaisia betoniportaita, mikä rajaa huomattavasti hydraulikkaletkuille käytettävissä olevaa tilaa ja reittivaihtoehtoja. Letkuja ei voida silloin enää jatkaa alas asti, vaan käytettäväksi jää sylinterin ja askelman välinen tila, joka on korkeussuunnassa luokkaa 200 mm. Lisäksi sylinterin ja seinämän välinen tila on myös pieni, eikä letkuja voida jatkaa siihenkään suuntaan. Näin ollen sylinterin vanha varustelumalli ei sellaisenaan toimi ja oli suunniteltava uusi ratkaisu.

Suunnittelussa päätettiin lähteä liikkeelle tarkastelemalla, voitaisiinko ylimääräisistä haaroituksista päästä eroon korvaamalla sylinterillä käytetty valmislohko tarkoitukseen suunnitellulla hydraulikkalohkolla. Siinä pilottilinja olisi integroitu lohkon sisälle ja näin saataisiin vähennettyä sylinterillä olevan varustelun määrää. Lisäksi voitaisiin vaikuttaa porttien suuntauksiin ja lohkon sijoitukseen, jotta letkut saataisiin aseteltua kulkemaan aikaisempaa pienemmässä käytettävissä olevassa tilassa.

Lohkossa tuli olla 3/4” portit sylinterin vastaavan kokoisiin portteihin liittymistä varten ja 1/2” portit letkujen liitäntöjä varten. Lohkossa oli myös oltava T-2A patruunaporaus kuormanlaskuventtiiliä varten ja 1/4” portti mittanippaa varten. Lisäksi lohkon oli oltava koneen poikkisuuntaan nähden symmetrinen, jotta samaa lohkoa voitaisiin käyttää koneen molemmilla puolilla, sillä letkut kulkevat peilikuvana koneen toisella puolella.

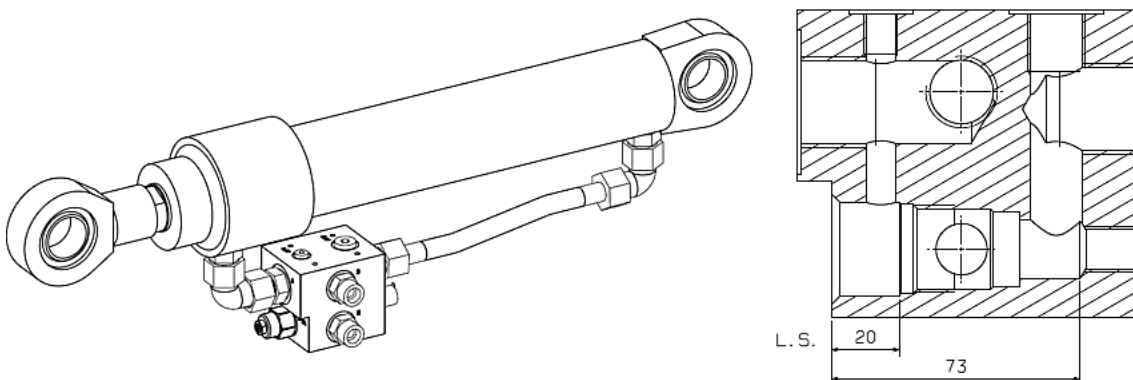
Lohkon valmistusmateriaaliksi valittiin teräs ja suunnittelussa pyrittiin välttämään vinoja porauksia ja monimutkaisia muotoja, mitkä tekisivät lohkon valmistuksesta hankalampaa ja sitä myötä kalliimpaa. Suunnittelussa käytettiin Valmetin lohkojen suunnitteluohjeistusta ja valmistajan ilmoittamia venttiilien minimireunaetäisyyksiä. Lohkosta ideoitiin erilaisia versioita kokeilemalla eri sijoituksia ja asentoja porteille ja patruunaventtiilille, sekä sovittelemalla letkuja eri kulmiin ja vaihtamalla lohkon paikkaa sylinterillä männän puolelta varren puolelle.

Lopulta päädyttiin kuvassa 24 näkyvään ratkaisuun, jossa letkujen 1/2” porttien kanavat (2 ja 3) ovat porattu lohkon läpi niin, että letkut voidaan liittää kummalle lohkon puolelle tahansa ja toinen puoli tulpata. Lohkon molemmissa päissä olevilla 3/4” liitännöillä (1 ja 3) lohko on tarvittaessa mahdollista asentaa kumpaankin sylinterin päähän tahansa. Patruunaventtiili (T-2A) ja mittanippa (MP1) on sijoitettu lohkon alaosaan, missä niihin pääsee helposti käsiksi. Tämä toteutus vaatii lohkon kaksi tulpattavaa apuporausta (AP1 ja AP2). Lohkon hydraulikkakaavio näkyy kuvassa 24 oikealla, missä porttien numerointi noudattaa tässä tapauksessa patruunaventtiilin porttien numerointia.



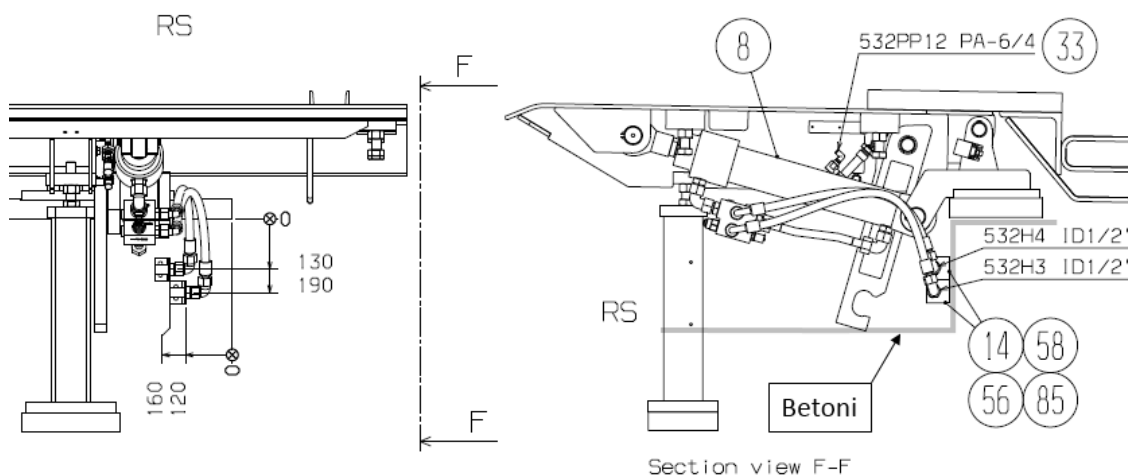
Kuva 24. Poistopöydän sylinterin lohkon mallin läpinäkymä komponentteineen (kuvassa vas.) ja lohkon kaavio (kuvassa oik.)

Lohkon katsottiin pysyvän tarpeeksi tukevasti paikoillaan 3/4" liittimillä, mutta siihen tehtiin kuitenkin varmuuden vuoksi M6 kierteet kiinnitystä varten, mikäli se kaipaisi lisäkiinnitystä tässä, tai tulevassa sovellutuksessa. Uusi poistopöydän sylinterin varustelu on esitetty kuvassa 25 vasemmalla. Lohko sijoitettiin sylinterille varren puolelle, jotta letkuille saataisiin lisää pituutta ja tilaa kääntyä. Sylinterillä olevissa linjoissa käytettiin 20S-sarjan liittimiä ja hitsattuja putkiliitoksia. Kuvassa 25 oikealla on esitetty yksi leikkauskuvanto lohkon piirustuksesta, missä on esitetty tarkempi kanavien sijoittelu lohkon sisällä.



Kuva 25. Poistopöydän sylinterin varustelu (kuvassa vas.) ja leikkauskuvanto lohkon piirustuksesta (kuvassa oik.)

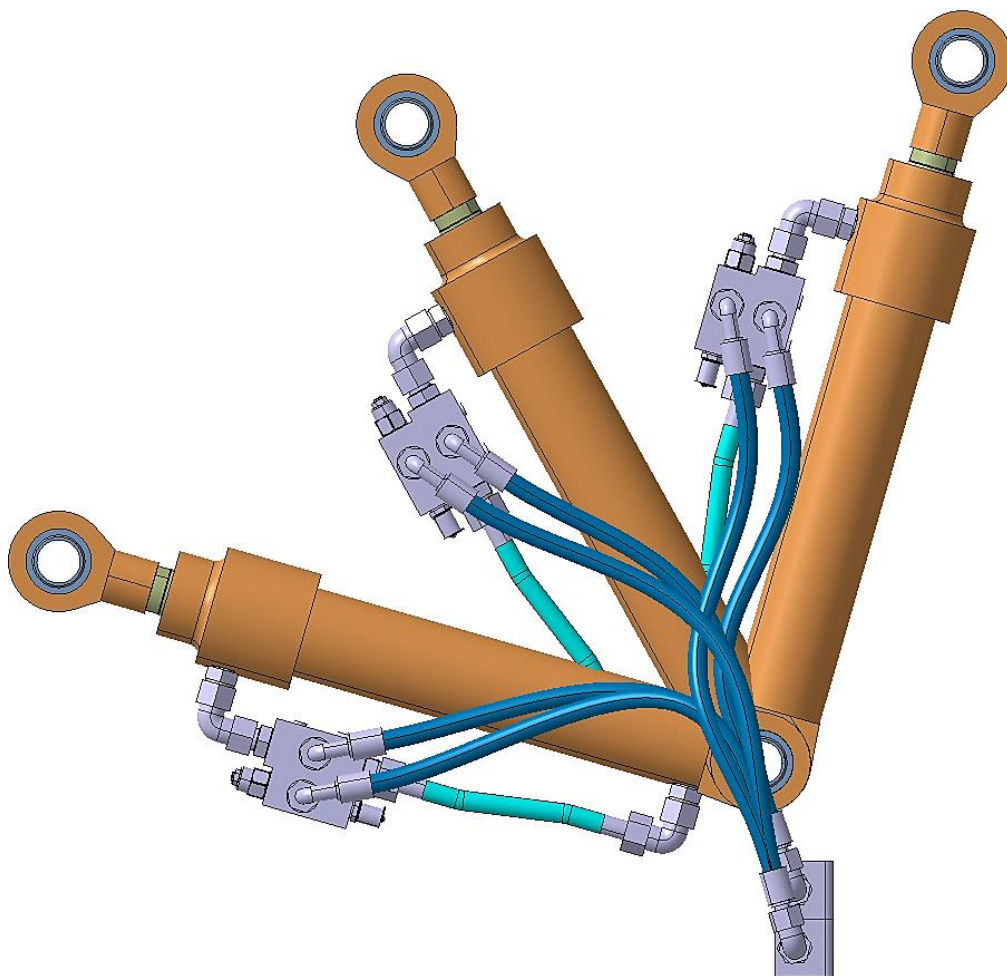
Kuvassa 26 on esitetty poistopöydän sylinterin kohta rullausosan varustelussa. Sivulta-päin näkyvään kuvantoon F-F on hahmoteltu betoniperustuksien pinta harmaalla viivalla. Letkut lähtevät lohkon sivulta kulmakaroilla, mikä mahdollistaa paremmin niiden suunnauksen asettelun. Letkuja ei muulla tavoin kiinnitetä sylinteriin, jotta niille jää tilaa liikkua ja taipua. Letkut liitetään askelman yläpuolella kenttäputkiin porrastetusti sijoitettujen läpivientikannakkeiden avulla, jotta liitännät saadaan tiiviimmin mahtumaan käytettävissä olevaan tilaan.



Kuva 26. Poistopöydän hydraulikkasylinteri rullausosan varustelukuvassa edestä (kuvassa vas.) ja sivulta (kuvassa oik.)

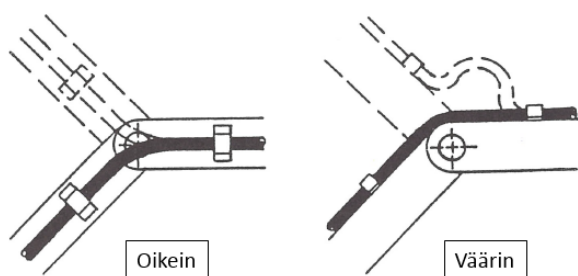
Letkujen toisessa päässä käytetään kulmakaraa ja toisessa päässä suoraa karaa sekä kulmaliitintä, mikä on käytännössä toimivin tapa tehdä kulman molempiin päihin vaativa letkun asennus. Asennettaessa kulmakara letkuasennelman molempiin päihin on olemassa suuri riski, että letku jää asennuksessa kiertojännitykseen, jos kulmakarojen välinen kulma ei ole letkuasennelman valmistuksessa sattunut tulemaan juuri sopivasti.

Letkujen pituudet määriteltiin mallintamalla ne kuvassa 27 näkyvissä kolmessa eri sylinterin asennossa, jotka olivat ala-asento, keskiasento ja yläasento. Näin letkujen käyttäytymistä sylinterin liikkeen aikana pystyttiin arvioimaan. Letkuille haettiin sopivat lähtökulmat kokeilemalla karojen eri asentoja ja vertailemalla tarvittavaa letkunpituutta eri sylinterin asennoissa. Lopullinen pituus valittiin niin, että tiukimmassakin asennossa letkuihin jäi tarpeeksi ylimääräistä pituutta.



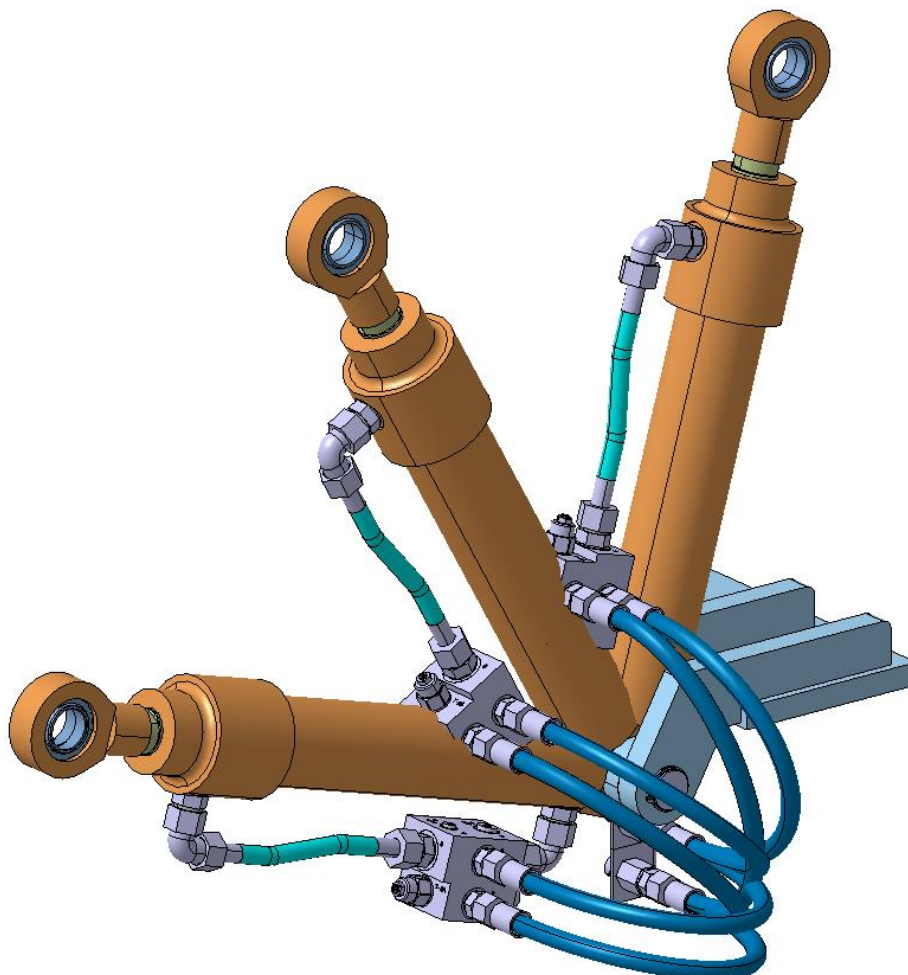
Kuva 27. Poistopöydän sylinterin letkujen käyttäytyminen mallissa eri asennoissa

Letkuihin ei voitu jättää myöskään liikaa ylimääräistä pituutta, sillä se aiheuttaisi letkun taipumisen liian jyrkälle taivutussäteelle, tai aiheuttaisi letkujen ottamisen kiinni rakenteisiin. Suuntauksessa käytettiin kuvassa 28 esitettyä periaatetta, jonka mukaan letkut kannattaa viedä mahdollisimman läheltä sylinterin niveltä, jotta suurilta pituudenmuutoksilta välttyttäisiin. Lopullisella asennuspaikalla betonipinnan mitoitus ei välttämättä ole kovin tarkka, joten letkujen tarkka asento täytyy tarkastaa asennuksen yhteydessä.



Kuva 28. Letkun vienti pyörähdysakselin kautta [muk. 14, s. 90]

Edellä esitetylle ratkaisulle mietittiin myös varavaihtoehto siltä varalta, että se ei toimisi tyydyttävällä tavalla. Tässä kuvassa 29 näkyvässä ratkaisuvaihtoehdossa lohko kiinnitetään sylinterillä männän puolelle. Letkut lähtevät suorilla karoilla sylinteriltä sivulle päin ja kaartavat takaisin sylinterin alapuolelle pyöriviin läpivientiliittimiin.



Kuva 29. Poistopöydän hydraulikkaletkujen toteutus pyörivillä liittimillä

Pyörivät liittimet tarvitaan tässä ratkaisussa letkujen rikkoutumisen välttämiseksi, sillä letkut lähtevät kiertymään sylinterin kääntyessä. Tässä sovelluksessa käytettäville pyöriville liittimille on valmistaja määritellyt taulukossa 3 näkyvät sallitut pyörimisnopeudet ja liikkeellelähtömomentit. Käytettävä liittimien koko on 16 S, jolle sallittu pyörimisnopeus vaihtelee työpaineesta riippuen välillä 800 - 45 rpm. Koska poistopöydän käännöstä letkujen kautta pyöriville liittimille välittyvä pyörimisnopeus on alle 10 rpm, ei pyörimisnopeus rajoita liittimien toimintaa.

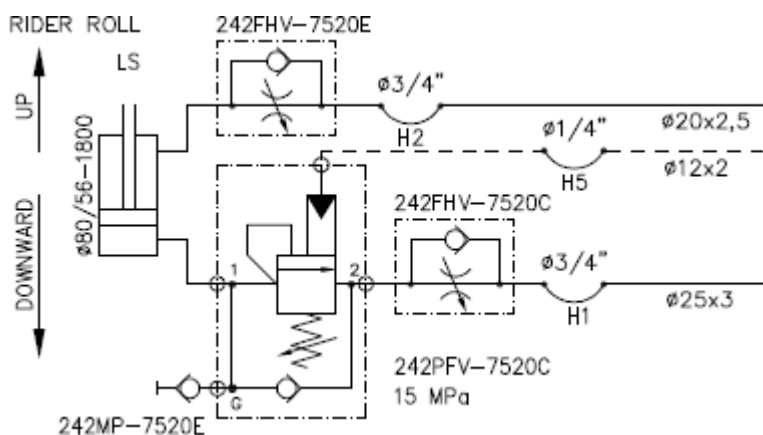
Taulukko 3. Parker pyörivien liittimien sallitut pyörintänopeudet ja liikkeellelähtömomentit [20, s. P3]

Tube O.D.	DN Nominal diameter (mm)	Permissible number of revolutions (rpm.) under a working pressure of					Initial torque at 250 bar/Nm
		25 bar	64 bar	100 bar	160 bar	250 bar	
6 8	5,0	1500	750	400	200	85	0.08
12 16	9,5	800	400	200	100	45	0.24
20 25	16,0	300	150	75	38	15	0.8
30 38	26,0	200	100	50	25	10	2.0

Pyörivien liittimien turhaa käyttöä pyritään välttämään, koska niiden hinta on monikymmenkertainen tavalliseen lähtöliittimeen verrattuna. Portaiden lopullisista mitoista riippuen tässä ratkaisussa on myös olemassa riski, että letkut ottavat betoniportaiden askelmiin kiinni, missä tapauksessa letkuille kannattaa harkita lisäsuojauksia.

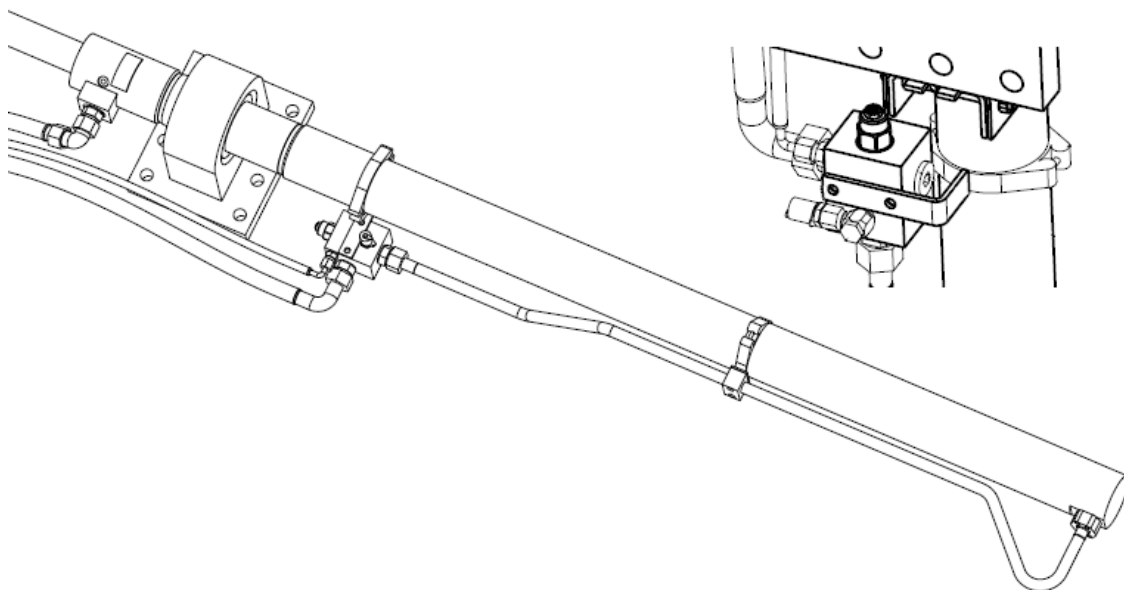
#### 6.1.4 Painotelan hydraulikkasynterlin varustelusuunnittelu

Painotelan hydraulikkasynteriereillä nostetaan rullausosan painotelaä ylös rullauksen aikana ja säädetään samalla voimaa, jolla painotela painaa rullia. Kun asiakasrullat ovat valmistuneet, lasketaan painotela hallitusti takasin alas synterieren varassa. Painotelan hydraulikkakaaviosta on esitetty synterierin kohta kuvassa 30. Painotelan synterierillä käytetään kuormanlaskuventtiiliä samaan tapaan kuin poistopöydän tapauksessa, mutta sen kanssa käytetään erillistä pilottilinjaa H5. Tämän lisäksi molempiin liikesuuntiin on nopeuden säätöä varten vastusvastaventtiilit.



Kuva 30. Painotelan synterierin hydraulikkakaavio lähtötilanteessa

Kuvassa 31 näkyy painotelan sylinterin vanha varustelu. Sylinterille tullaan 1/4" H5 pilot-tilinjan lisäksi kahdella 3/4" letkulla linjoissa H1 ja H2. Vanhaan varusteluun ei vielä sisällynyt vastusvastaventtiilejä, mitkä on lisätty piiriin myöhemmin. Kuormanlaskuventtiili on patruunatyypinen ja sylinterillä käytetään valmislohkoa. Lohko on kannakoitu T-pultti kiristimeen hitsatulla kulmaan taivutetulla kapealla lattateräksellä. Kuvassa 31 näkyy myös sylinterin kiinnitys rullausosan runkoon, mikä on toteutettu varren puolella sylinterin rungossa olevalla kierteellä, mikä mahdollistaa sylinterin ja painotelan aseman säädön.

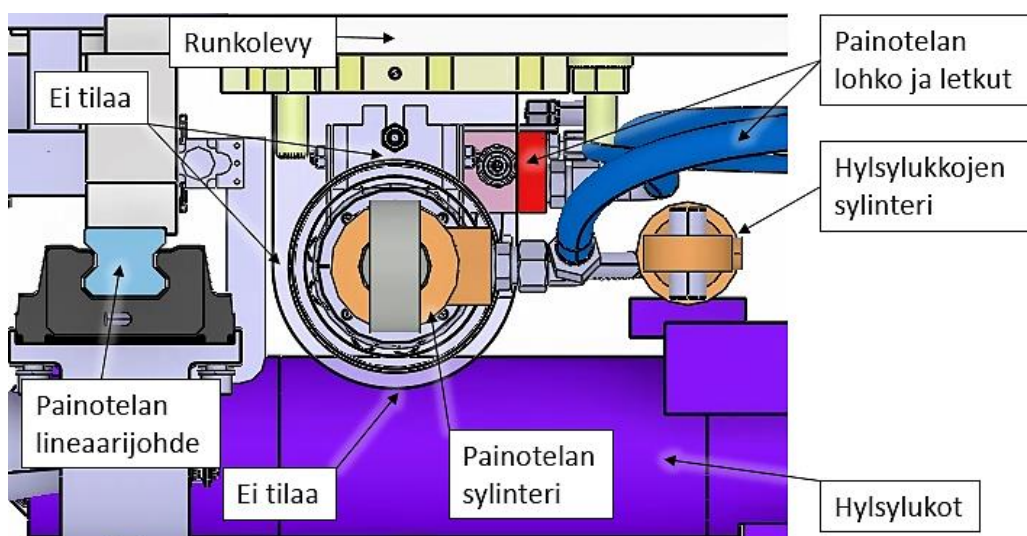


Kuva 31. Vanha painotelan sylinterillä oleva varustelu (RS) ja lohkon kiinnitys (LS).

Kuvassa 32 on esitetty vanha painotelan sylinteri ja varustelulle käytettävissä olevat tilat. Painotelan sylinteri on kiinnitetty lähelle rullausosan runkoa lineaarijohteiden ja hylsilyukkojen sylinterin väliin. Kuvassa violetilla näkyvät hylsilyukot liikkuvat ylös ja alas hyvin lähellä painotelansylinterin pintaa.

Kuten kuvassa 32 näkyy, varustelulle käytettävissä oleva tila on melko tiukka. Oikeastaan ainoaksi alueeksi sijoittaa kuvassa punaisella näkyvä sylinterin lohko ja sinisellä näkyvät letkut jää hylsilyukkojen sylinterin puoli. Saatavilla olevan valmislohkon isoimpina ongelmina ovat rajoitetut porttien suuntausmahdollisuudet ja esimerkiksi mittanipalle kärsiksi pääsy kummallakin puolella konetta.





Kuva 32. Vanha painotelan sylinteri (LS) ja käytettävissä olevat tilat ylhäältä päin katsottuna

Vanhassa painotelan sylinterin varustelussa on havaittu esikokoonpanossa kuvassa 33 esitettyjä ongelmakohtia. Ilmeisesti siinä vaiheessa, kun vastusvastaventtiilit ovat tulleet lisäksi varusteluun, ei niille ole enää löytynyt kunnolla tilaa. Asiaa ei ole auttanut lohkon huteraksi osoittautunut kannakointi, mikä on mahdollistanut lohkon ja siinä kiinniolevien komponenttien taipumisen.



Kuva 33. Esikokoonpanossa havaittuja painotelan sylinterin varustelun ongelmakohtia [muk. 8]

Suunnittelussa lähdettiin liikkeelle tarkastelemalla, saisiko valmislohkon sijoitettua sylinterille paremmin. Tässä tultiin kuitenkin siihen tulokseen, että parempaakaan paikkaa tai asentoa sille ei löydy. Koska valmislohkoa ei muutenkaan pidetty tähän tilanteeseen optimaalisena ratkaisuna, päätettiin tutkia, millaiseen ratkaisuun päästäisiin suunnittelemalla sen tilalle paremmin toimiva lohko.

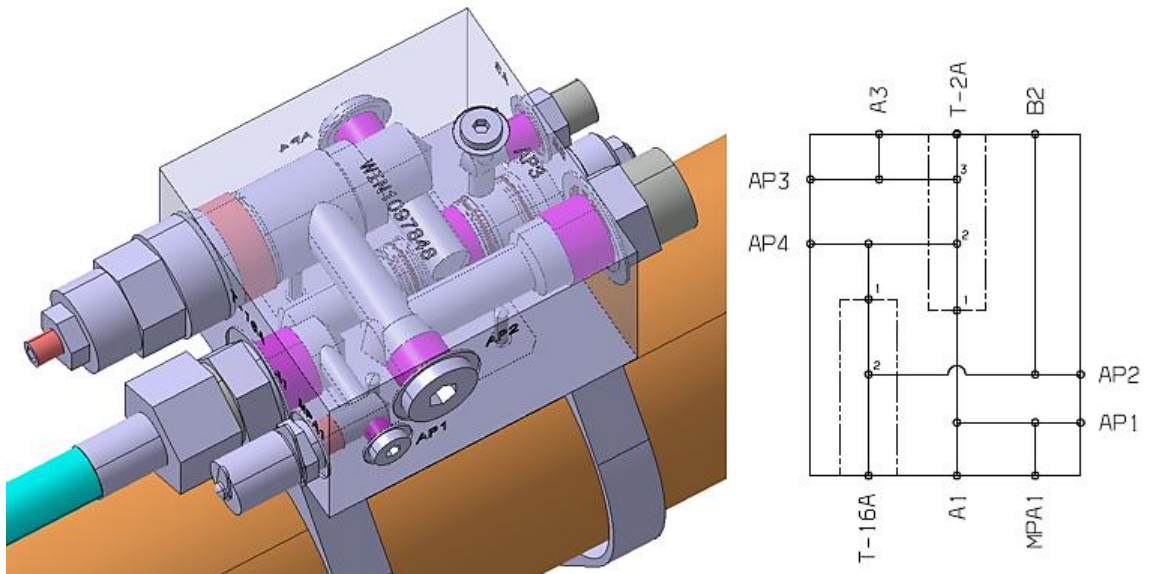


Lohko suunniteltiin samoja periaatteita noudattaen kuin poistopöydän sylinterin lohkon tapauksessa. Koska painotelan sylinterin männän puolen portti on toteutettu sylinterin päädyn luona olevalla SAE-liitännällä, ensimmäiset hahmotelmat lohkoista ideoitiin liitettäväksi suoraan tähän. Silloin väliputkitusta sylinteriltä lohkolle ei tarvittaisi. Samalla mietittiin, josko letkut voitaisiin tuoda alhaalta päin ylhäältä kulkevan reitin sijasta. Pohdinnan jälkeen tultiin kuitenkin siihen tulokseen, että letkureitin muuttaminen olisi hankalaa ja lohkon sijoitus aivan lattian raja-alueeseen heikentäisi siihen käsiksi pääsyä. Niinpä lohko päätettiin sijoittaa ylempään sylinterille.

Lohkossa tuli olla 3/4” portit H1 ja sylinteriin liitäntää varten, 1/4” portit H5 pilottilinjaa ja mittanippaa varten, sekä T-2A patruunaporaus kuormanlaskuventtiiliä varten. Koska tämän lisäksi tarvitaan myös vastusvastaventtiili, kokeiltiin myös sen sisällyttämistä samaan lohkon patruunaventtiiliin. Jos tämä ei onnistuisi, vaihtoehtona olisi lisätä se linjaan lohkon jatkeeksi. Patruunaventtiilit ja mittanippa piti sijoittaa niin, että niihin on mahdollista päästä käsiksi.

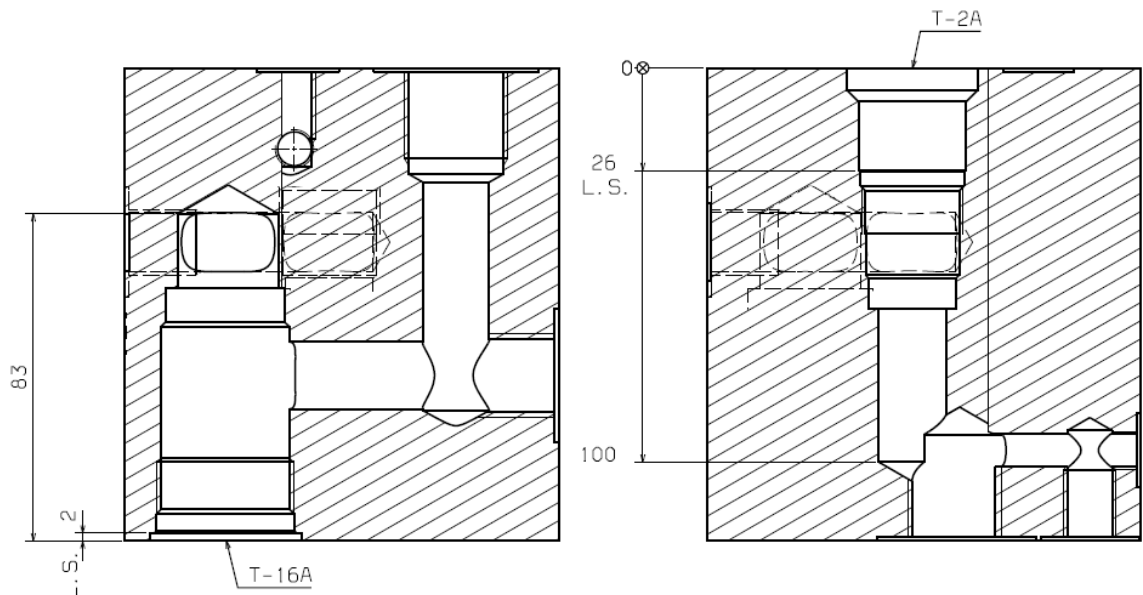
Sopiva patruunamallinen vastusvastaventtiili valittiin sillä perusteella, että sen tilavuusvirran kapasiteetti on vähintään yhtä suuri, kuin muiden piirissä olevien venttiilien kapasiteetti. Sopivan kokoisen vastusvastaventtiilin patruunaporaus oli T-16A. Lohko piti suunnitella niin, että sylinterin liitäntä sijoittuu alaspäin ja letkut saadaan lähtemään ylöspäin sylinterin läheltä, mutta kuitenkin ohi sylinterin kiinnikkeen rungosta. Lisäksi saman lohkon tuli käydä molemmille puolille konetta ja tietenkin mahtua käyttävissä olevaan tilaan.

Muutaman erilaisen version jälkeen päädyttiin kuvassa 34 vasemmalla näkyvään matalaprofiiliseen ratkaisuun, jossa kaikki portit ja patruunaventtiilit on sijoitettu lohkon päätyihin. Letkujen portit on sijoitettu lohkon yläreunaan, jotta letkut ohjautuvat paremmin sylinterin kiinnikkeen rungon ohi. Kuvassa 34 oikealla näkyy lohkon kaavio. Sylinterin männän puoleinen portti kytketään lohkon porttiin A1, letku H1 porttiin B2 ja pilottilinjan letku H5 porttiin A3. Männän puolen paineen mittaamista varten on mittanipalle paikka portissa MPA1. Tämä toteutus vaatii neljä apuporausta AP1 - AP4.



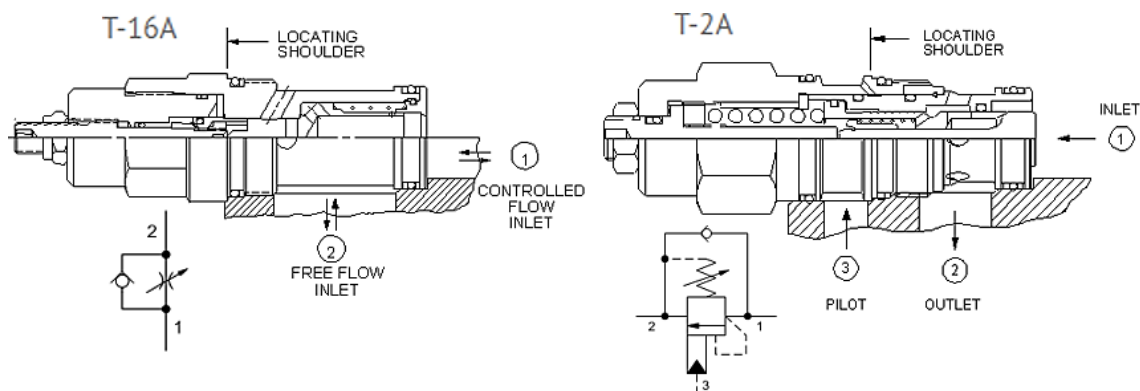
Kuva 34. Painotelan sylinterin lohkon läpinäkymä komponentteineen (kuvassa vas.) ja lohkon kaavio (kuvassa oik.)

Lohkossa olevat kanavat voidaan jakaa kahteen kerrokseen, mikä on esitetty lohkon piirustuksen leikkauskuvantoin avulla kuvassa 35. Tässä esitettyihin kuvantoihin on hahmoteltu katkoviivoin patruunaventtiilit yhdistävä poraus AP4. Tällä rakenteella lohkon saatiin sijoitettua molemmat venttiilit ja tarvittavat portit riittävän kompaktisti. Myös tila-vaus lohkon pohjassa oleville M6 kiinnitysrei'ille oli otettava suunnittelussa huomioon.



Kuva 35. Painotelan sylinterin lohkon leikkauskuvannot

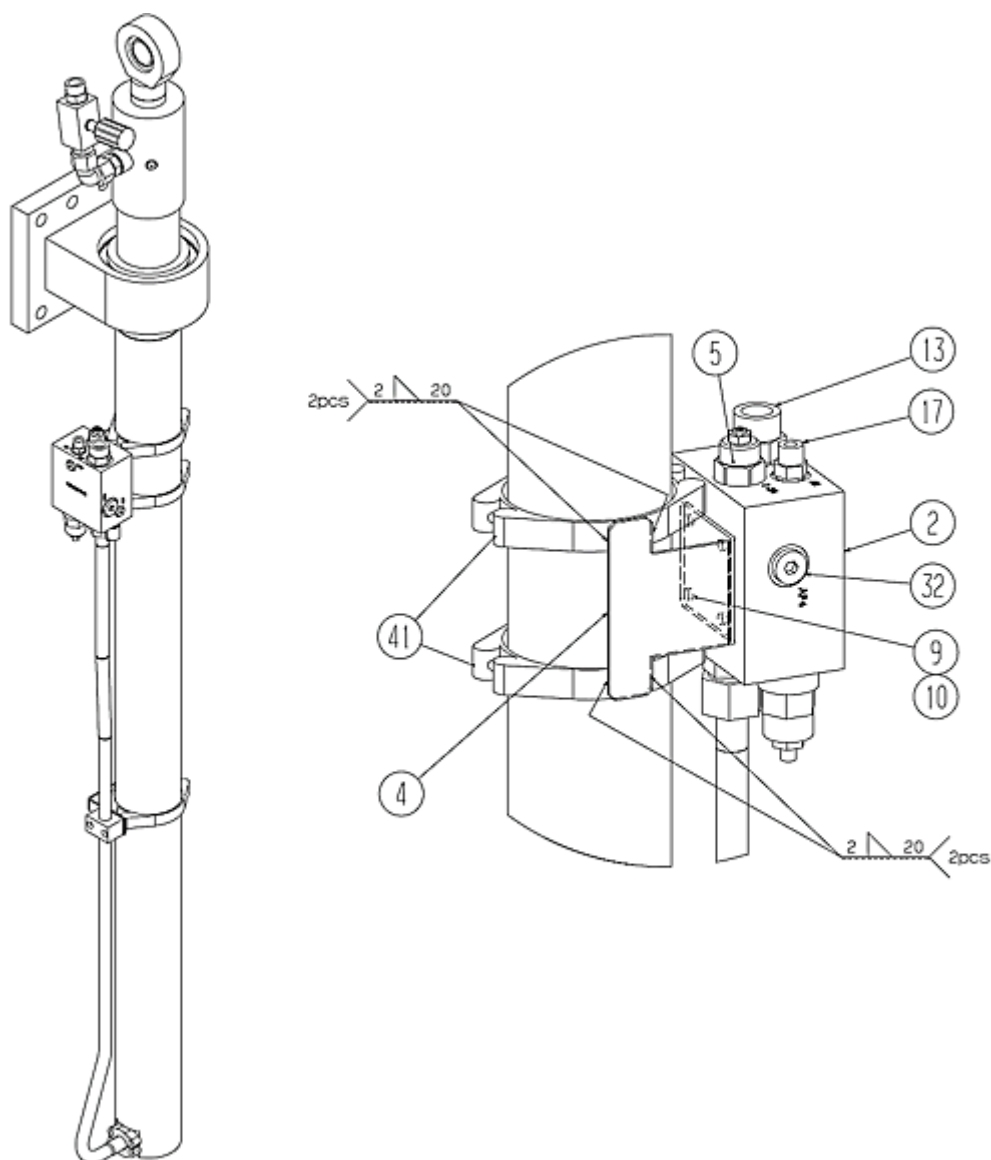
Käytettyjen patruunaventtiilien rakenne ja kaaviomerkit on esitetty kuvassa 36. Sylinterin ulosliikkeessä öljy virtaa sisään lohkon portista B2 vapaasti molempien venttiilien läpi porteista 2 portteihin 1 ja edelleen ulos sylinterille lohkon portista A1. Liikettä rajoitetaan tällöin varren puolella olevalla vastusvastaventtiilillä. Takaisinliikkeessä öljy virtaa vapaasti varren puolelle. Silloin lohkossa olevat vastusvastaventtiili ja kuormanlaskuventtiili rajoittavat sylinterin männän puolelta lohkon portista A1 sisään tulevaa virtausta. kuormanlaskuventtiili tarvitsee myös riittävän paineen pilottiportiin 3 avautuakseen.



Kuva 36. Sun Hydraulics T-16A vastusvastaventtiili (kuvassa vas.) ja T-2A kuormanlaskuventtiili (kuvassa oik.) [muk. 46]

Koska vanha lohkon kiinnitys oli havaittu riittämättömäksi ja uusi lohko on vanhaa painavampi, suunniteltiin uudelle lohkolle tukevampi kiinnitys. Painotelan sylinterin ulkohalkaisija on vanhaa sylinteriä 4 mm isompi, minkä takia T-pultti kiristimet (osat 41) eivät mahduneet enää olemaan muussa kuin kuvassa 37 näkyvässä poikkisuuntaisessa asennossa, sillä muuten hylsylukkojen runko ottaisi niihin kiinni.

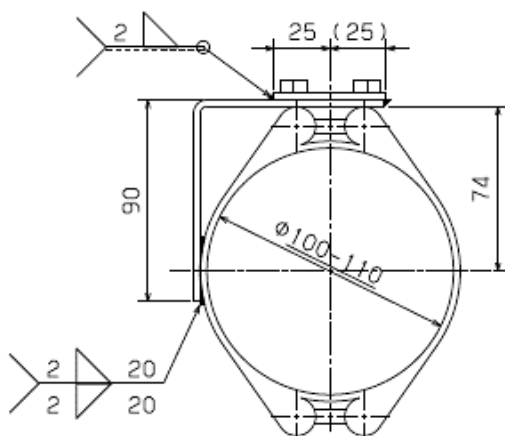
Lohkon kannake (osa 4) on tehty 3 mm:n teräksestä, joka on taivutettu 90° kulmaan. Lohkossa ja kannakkeessa olevat kiinnitysreiät on tehty neliökuvioon symmetrisesti, jolloin kannake sopii lohkoon molemmilla puolilla konetta. Kannake hitsataan kiinni kahteen T-pultti kiristimeen, millä varmistetaan riittävän tukeva kiinnitys.



Kuva 37. Painotelan sylinterin varustelu (RS) ja lohkon kiinnitys

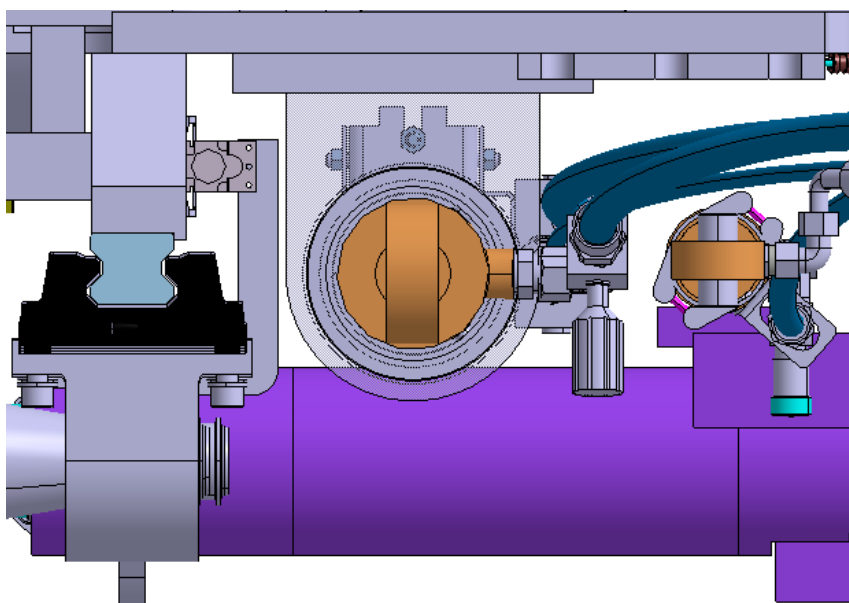
Sylinterin perällä käytetään 20 mm:n putken liittämiseen hitsattavaa SAE-laippakiinnitystä. Tähän kohtaan tutkittiin tilansäästöä ja putkitustyön helpottamista varten hitsattavan suoran nipan vaihtamista sopivaan hitsattavaan kulmaliittimeen. Sopivat kulmaliittimet osoittautuivat kuitenkin toimittajalta tiedusteltaessa vähemmän käytetyiksi artikkeleiksi, joiden toimitusajaksi kerrottiin yksi kuukausi, eikä hintakaan ollut halpa.

Näin ollen kulmaliittimestä luovuttiin ja pitäydyttiin vanhassa ratkaisussa, jossa putki taitutetaan mahdollisimman lähelle sylinteriä. Koska kaikki T-pultti kiristimet oli käännettävä koneen poikkisuuntaan, tehtiin kuvassa 38 näkyvä uusi kannake myös sylinterin ja lohkon väliselle putkelle.



Kuva 38. Painotelan sylinterin varustelun putkikiinnikkeen kannake

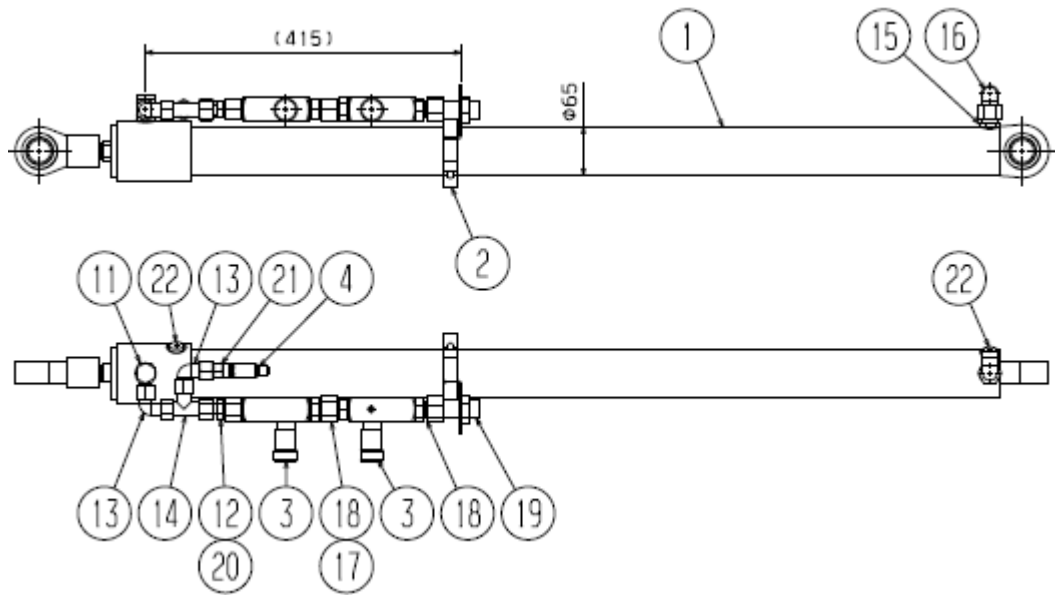
Uusi varustelu sopii nyt paremmin rullausosan rungolle, mikä on esitetty ylhäältä päin kuvassa 39, verrattuna vanhaan kuvassa 32 näytettyyn tilanteeseen, vaikka siihen on lisätty vastusvastaventtiilit. Myöskään lohkon taipumisen ei pitäisi enää olla ongelma ja letkut mahtuvat kulkemaan paremmin hylsylukkojen sylinterin ohitse.



Kuva 39. Uusi painotelan sylinterin varustelu (LS) rullausosan rungolla ylhäältä päin katsottuna

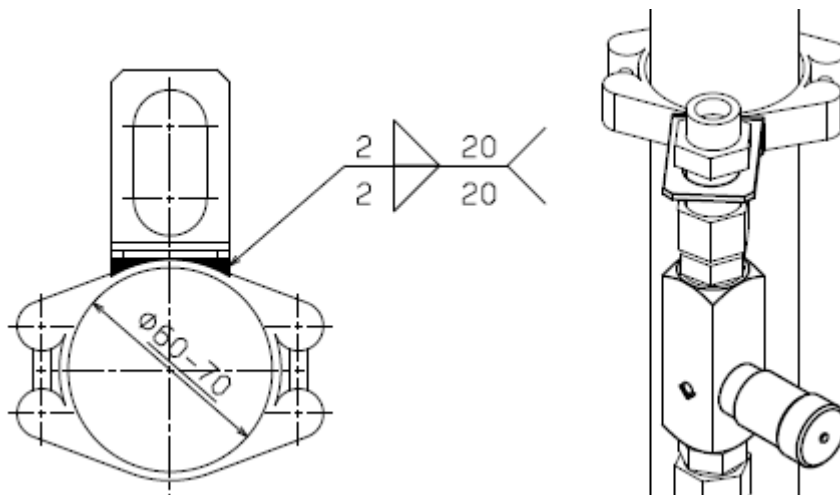
Venttiileihin ja mittanippaan pääsee tällä ratkaisulla melko hyvin käsiksi, mutta asennuksessa käytettävissä olevat tilat ovat edelleen ahtaat. Esimerkiksi huoltotilanteessa saat-  
taa olla helpompaa avata lohkon ja putken liitos ja kääntää lohko paremmin esille komponenttien vaihtoa varten.





Kuva 41. Hylsylukkojen sylinterin varustelu (RS)

Kuvassa 42 näkyvä kannake tehtiin taivutetusta 3 mm:n teräslevystä, joka hitsataan sylinterille sopivan kokoiseen T-pultti kiristimeen. Kannakkeeseen tehtiin 16 S-sarjan läpiviennille sopiva soikkoreikä, millä huomioidaan T-pultti kiristimen kiristyminen ja liittimien aseman epätarkkuus.



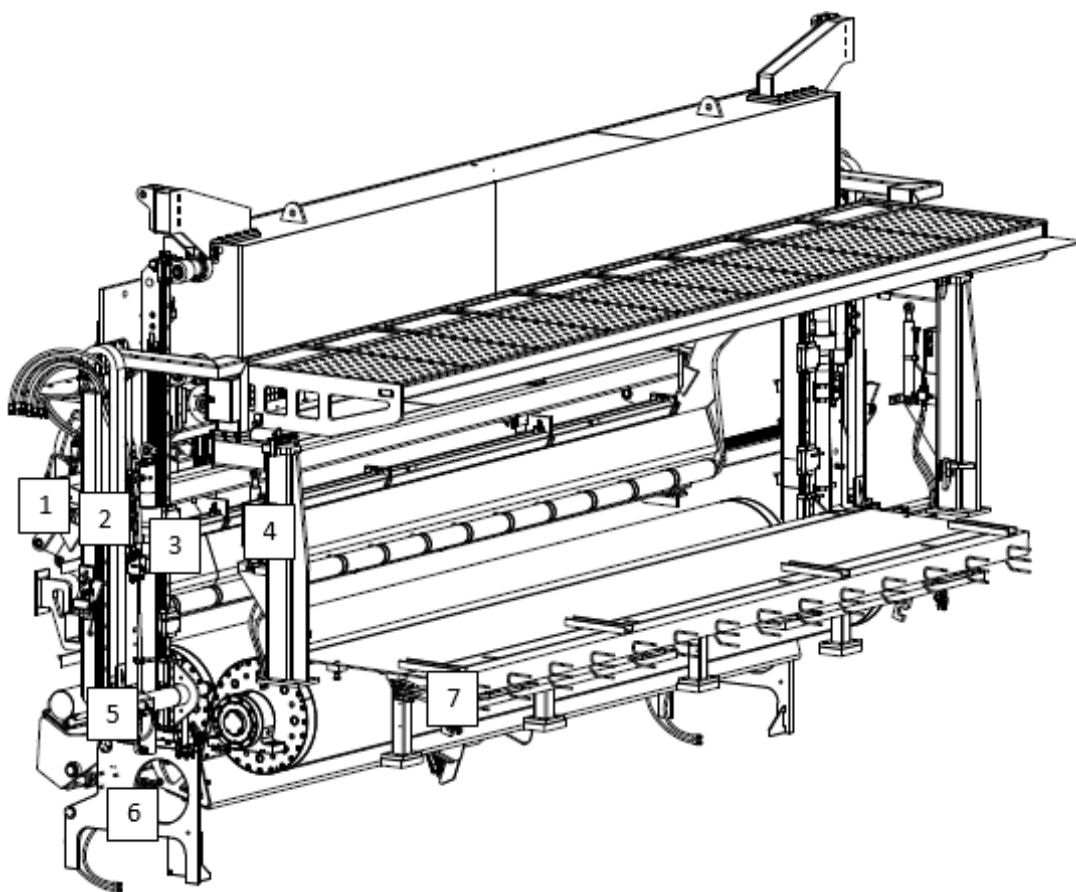
Kuva 42. Hylsylukkojen sylinterin varustelun kannake

Tällä ratkaisulla komponentit eivät lähde taipumaan banjoliittimestä esimerkiksi venttiilejä säädettäessä, tai värinän vaikutuksesta rullauksen aikana. Myös letkun kiinnitys on tukevampi kannakoinnin ansiosta, eikä letkusta pääse muodostumaan taivutusmomenttia liittimiin.

## 6.2 Rullaososan rungon varustelumallin päivitys

Pituusleikkurin varustelumalli on tyypillisesti jaettu osakokonaisuuksiin, joita ovat mm. rullaososan rungon varustelu, leikkausosan varustelu, aukirullaososan varustelu, kenttäputkitukset ja venttiilipaneelien varustelut. Rullaososan rungon varustelukuvissa esitetään siihen kiinni tulevat hydraulikkasyylinterit, pneumatiikkalaitteet, letkut, putket ja venttiilit. Kuvaan merkitään myös esimerkiksi tarvittavat kiinnikkeet ja sähkökotelot. Base-leikkurin rullaososan rungon varustelukuvasta on esitetty yleisnäkymä kuvassa 43. Tässä esitettyyn kuvaan on lisätty koneen oikean puolen hydraulikkasyylinterit numeroin:

1. rullantyöntimen sylinteri
2. hylsilyukkojen kevennyksen sylinteri
3. painotelan sylinteri
4. kitasuojan sylinteri
5. hylsilyukkojen kiinnityksen sylinteri
6. katkaisulaitteen sylinteri
7. poistopöydän sylinteri.



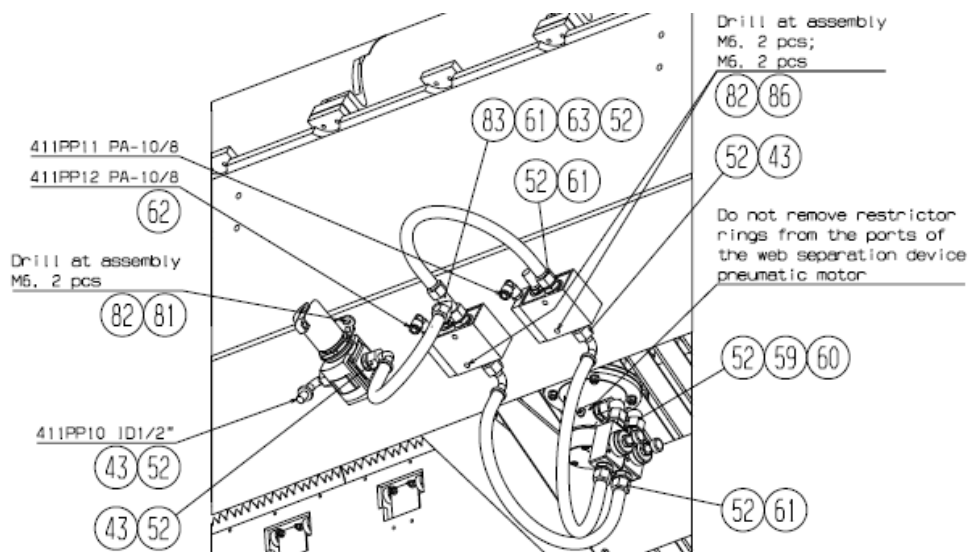
Kuva 43. Base-leikkurin rullaososan rungon varustelun yleiskuva ja hydraulikkasyylinterit



Rungon varustelumalliin tuotiin pohjaksi uusimmat Base-leikkurin rungon mekaniikka-mallit ja betoniperustukset. Tämän jälkeen malliin tuotiin rullausosan hydraulikkasylin-te-rit varusteluineen, joihin tehtiin mm. aikaisemmin esitettyjä muutoksia ja parannuksia. Samassa yhteydessä mallinnettiin kenttäputkistolta hydraulikkasyntereille tulevat let-kut, sekä rungolla olevat pneumatiikkaputket ja venttiilit päivityksineen. Lopuksi tehtiin rungon varustelupiirustus ja päivitettiin osaluettelot. Syntyneeseen varustelupiirustuk-seen merkittiin aikaisempaa kattavammin piiritunnukset ja osaluetteloon lisättiin tarkem-min mm. tarvittavia ruuveja ja kiinnitystarvikkeita.

Letkujen mallinnuksessa otettiin huomioon hydraulikkasynterien liikkeet ja jätettiin yli-määräistä pituutta paineesta johtuvaa letkun lyhenemää ja betoniperustuksien mittatole-ransseja varten. Hylsylvukkojen kiinnityksen sylinterin letkujen pituuksien määrityksessä otettiin huomioon mallista mitattu energiansiirtoketjun pituus. Rullausosan rungolle tule-vista hydraulikkaletkuista tehtiin PDM-järjestelmään letkuluettelo, jossa on ilmoitettu let-kuasennelmien pituudet, koot, karojen tyypit, standardit, suojaus ja letkujen tunnukset.

Poistopöydän sylinterien lisäksi rungon varustelumalliin lisättiin levityslaitteen pneuma-tiikkamoottori, jolla käytetään levityksen suuruuden säätöä. Levityksen säätö toimii nos-tamalla ja laskemalla levitystelaa, mikä tapahtuu ruuvinostimen ja pneumatiikkamootto-rin pyörittämien kardaniakseleiden välityksellä. Vanhemmassa leikkurimallissa säätö on ollut käsikäyttöinen, mutta uuteen Base-leikkuriin tehtiin kuvassa 44 näkyvä paineil-makäyttö.

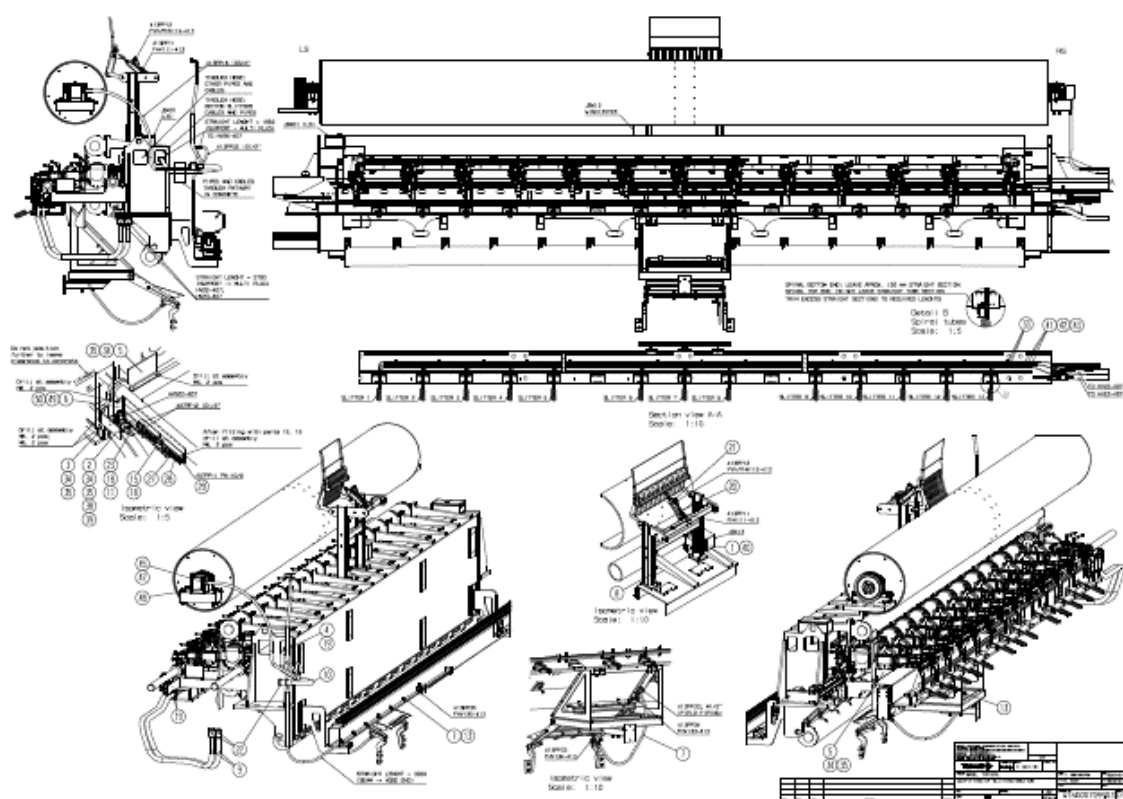


Kuva 44. Levityslaitteen pneumatiikkamoottori, venttiilit ja letkut rungon varustelukuvassa

Rullaososan runkoon liittyen päivitettiin myös lankaverkkokaapelihyllyjen reitit ja kuvat. Lankaverkkohyllyjä käytetään kevyempien letkujen ja sähköjohtojen vientiin. Yksi lisäys rungolle tuleviin lankaverkkohyllyihin olivat rungon ja leikkausosan yhdistävät osuudet, joita pitkin leikkausosalta päin tulevat linjat saadaan tuotua siistimmin ylös rungolle. PDM-järjestelmään luotiin lisäksi tarvittavat kaupalliset nimikkeet ja tehtiin lankaverkkohyllyiltä puuttuneet osaluettelot.

### 6.3 Leikkausosan varustelumallin päivitys

Leikkausosan varustelu koostuu pääasiassa pneumatiikkalaitteiden putki- ja letkuveistoista, sekä niiden venttiilien sijoittelusta. Leikkausosalla olevia pneumatiikkalaitteita ovat terälaitteet, päänniennin imutela, sekä päänniennin puhallukset ja pneumatiikkasyylinteri. Leikkausosan varusteluun tuotiin pohjaksi viimeisimmät Base-leikkurin mekaniikkamallit ja betoniperustukset, jonka jälkeen letkut ja putket korjattiin kulkemaan oikein. Leikkausosan varustelukuva on esitetty pienennettynä kuvassa 45 antamaan yleiskäsitystä siitä, miltä varustelukuva näyttää.



Kuva 45. Mallikuva leikkausosan varustelukuvasta

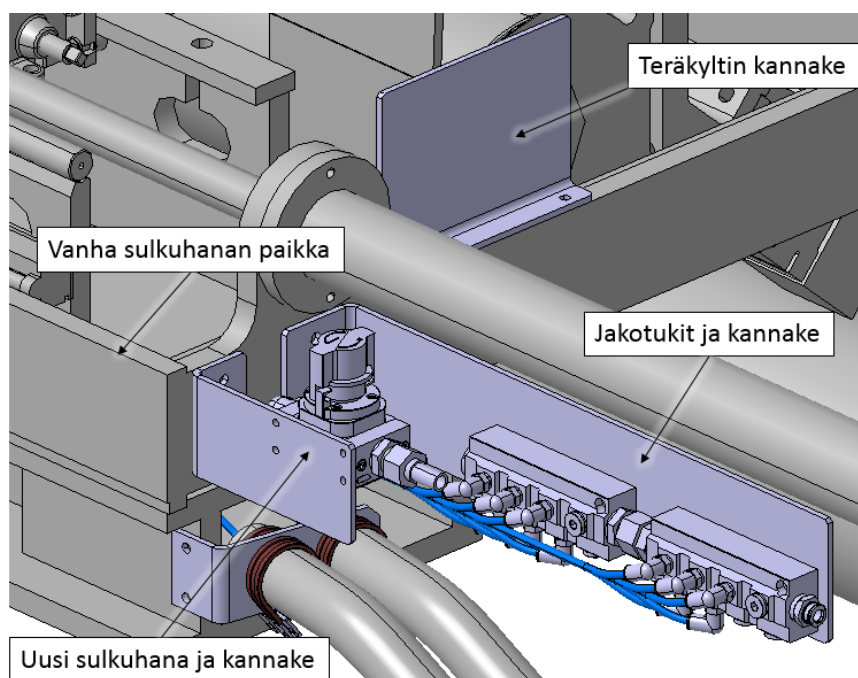
Yksi leikkausosan varustelumalliin tehty päivitys oli terälaitteiden teräpaineen sulkuhanan vaihtaminen uuteen malliin. Sulkuhanalla voidaan kytkeä kaikkien terälaitteiden paine päälle tai pois. Kuvassa 46 näkyy vanha sulkuhana ja sen toteutus, jonka on todettu sijaitsevan hieman epäedullisessa paikassa, sillä sen kahva törröttää koneen rungon ulkopuolella vähän alle metrin korkeudessa lattiasta.



Kuva 46. Vanha teräpaineen sulkuhana ja sen kannakointi [8]

Uusi modernimman näköinen ja kompaktimpi sulkuhana näkyy kuvassa 47. Sulkuhanalle ideoitiin eri paikkoja rungon päällä, edessä ja taaempana betonissa, mutta lopulta päädyttiin sijoittamaan hana rungon päätyyn hieman etupinnasta sisemmäs. Sulkuhanan 3D-malli käytiin hakemassa valmistajan sivuilta. Sulkuhanalle tehtiin uusi kannake 5 mm maalatusta teräksestä. Kannakkeen ulkopintaan varattiin tilaa sulkuhanan merkintöjä varten. Sulkuhana sijoitettiin kannakkeessa ylemmäs, jotta siihen pääsee hyvin käsiksi ja sen pohjassa sijaitsevalle poistoliitynnän äänenvaimentimelle jäi paremmin tilaa.

Terälaitteille tulee koneen molemmin puolin ohjekyltit, joissa on esitetty terälaitteen toimintoja. Näille 1 mm:n alumiinista tehdyille kylteille ei ole ollut kunnollista sijoituspaikkaa. Hetken pohdinnan jälkeen päädyttiin teräkylteille tekemään omat myöskin kuvassa 47 näkyvät kannakkeet, jotka saadaan koneen rungon päälle kiinni.

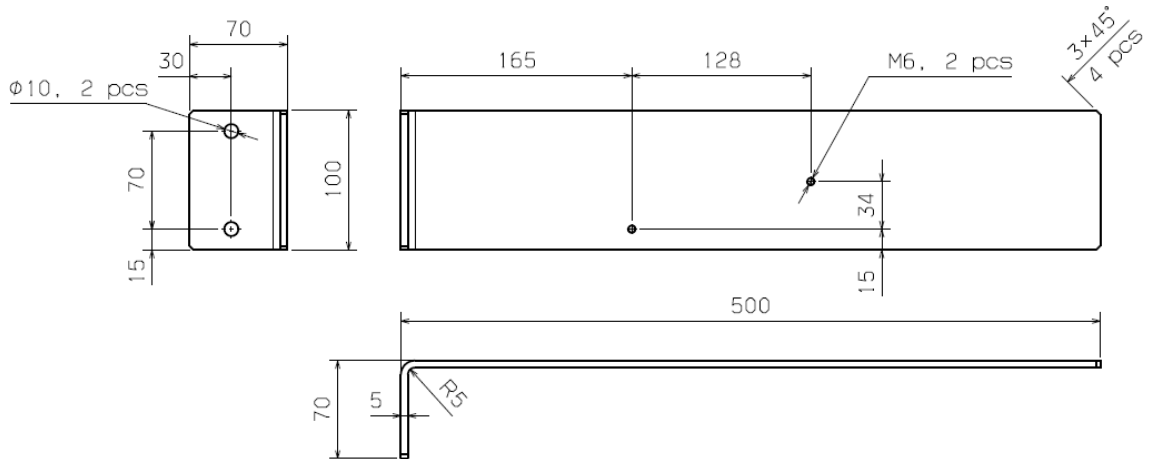


Kuva 47. Uusi sulkuhana, jakotukit ja teräkyltin kannake

Vielä eräs leikkuuosan varusteluun tehty muutos oli terälaitteiden painelinjojen haaroitusten muuttaminen jakotukilla tehtäväksi. Jokaiselle yläterälle menee teräpainelinja 6/4 mm muoviputkea pitkin. Vanhassa varustelussa tämä on toteutettu T-haaraliittimillä yhteisestä syöttölinjasta jokaiselle terälle erikseen, mutta viime aikoina on alettu suosia jakotukien käyttöä monien T-haarojen sijasta. Niinpä jakotukit päätettiin lisätä varustelumalliin. Paineilman jakotukit on yhdistetty liittimillä toisiinsa. Paineilman syöttö tulee ensimmäisen tukin päädyssä, josta paineilma jakaantuu terälaitteille molempien tukkien ja kulmalähtöliittimien läpi.

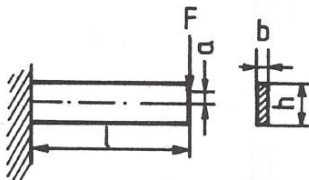
Jakotukeille piti myös löytää sopiva sijoituspaikka, joka olisi luontevasti leikkausosan rungon kaapeliaukon lähellä ja venttiilikaapilta tuloreitin varrella. Jakotukit ajateltiin ensin ankkuroitavaksi betoniperustukseen suunnilleen samaan kohtaan, kuin missä ne näkyvät kuvassa 47, mutta kiinnitystä runkoon pidettiin parempana vaihtoehtona.

Koska tilaa parempaan asennuspaikkaan ei keksitty, jakotukeille tehtiin runkoon kiinnitettävä kannake samasta 5 mm:n teräksestä kuin edellä. Jos kannake havaittaisiin huonoksi ratkaisuksi kokoonpanossa, lohkot olisi edelleen mahdollista ankkuroida betoniin. Kannakkeen mitat näkyvät kuvassa 48. Kannakkeeseen tehtiin valmiit kierrereiät toista tukkia varten. Toisen tukin reiät tehdään asennettaessa, jotta niiden oikeat paikat saadaa mallattua jakotukkien välisten liittimien kiristyksen jälkeen.



Kuva 48. Jakotukkien kannake

Koska jakotukkien kannake ulottuu kiinnityksestä suhteellisen pitkälle, on hyvä tarkastaa sen käyttäytyminen rasituksen alaisena. Tällainen pitkä ja korkeuteensa suhteessa kaipa kappale pettää pystysuuntaisessa kuormituksessa ensisijaisesti kiepahtamalla, eli sen puristusjännityksessä oleva ylä-, tai tässä tapauksessa alareuna nurjahtaa sivulle. Kiepahdusvoimalle on olemassa kaava kuvassa 49 esitetylle tapaukselle, jossa toisesta päästä jäykästi tuettuun suorakaideulokepalkkiin vaikuttaa pystysuoraan pistevoima palkin päässä. Tätä tilannetta voidaan käyttää arvioimaan kannakkeen kiepahdusherkyyttä, jos oletetaan kannakkeen kiinnitysosan käyttäytyvän jäykästi.



Kuva 49. Suorakaideulokepalkin kiepahdus sen päässä vaikuttavalla pistevoimalla [47, s. 738]

Yllä kuvatussa tapauksessa ja kimoisessa käyttäytymisessä palkin kiepahdusvoima on

$$F_k = \frac{0,669b^3h\sqrt{EG(1-0,63b/h)}}{l^2} \left[ 1 - \frac{a}{2l} \sqrt{\frac{E}{G(1-0,63b/h)}} \right] \quad (1)$$

missä

$F_k$  on palkin kiepahdusvoima

$b$  on palkin leveys

$h$  on palkin korkeus

$E$  on materiaalin kimmokerroin

$G$  on materiaalin liukukerroin

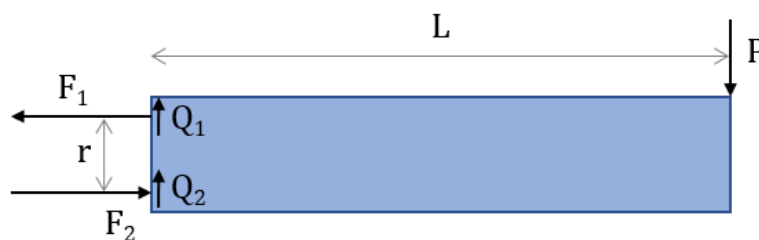
$l$  on palkin pituus, sekä voiman kohtisuora vaikutusetäisyys tuennasta

$a$  on pistevoiman pystysuora etäisyys palkin keskilinjasta.

Kannakkeen mitoista saadaan pituus  $l = 500$  mm, leveys  $b = 5$  mm ja korkeus  $h = 100$  mm. Teräkselle käytetään arvoja kimmokerroin  $E = 210$  GPa ja liukukerroin  $G = 81$  GPa. Oletetaan pistevoiman vaikuttavan kannakkeen keskilinjalla, jolloin etäisyys  $a = 0$ . Tällöin kannakkeen kiepahdusvoimaksi saadaan kaavan 1 mukaan

$$F_k = \frac{0,669 (5 \text{ mm})^3 \cdot 100 \text{ mm} \sqrt{210\,000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 81\,000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} (1 - 0,63 \cdot 5 \text{ mm} / 100 \text{ mm})}}{(500 \text{ mm})^2} = 4,29 \text{ kN}. \quad (2)$$

Tarkistetaan myös kuvassa 50 esitetyllä yksinkertaistetulla mallilla, jossa ei huomioida mm. mahdollista vääntömomenttia kannakkeen pituussuunnassa, kuinka suuren kuorman  $P$  kannakkeen kiinnikkeet suunnilleen kestävät kannakkeen päässä. Oletetaan, että 8.8 M8 ruuvit kantavat kiinnitykseen kohdistuvan taivutusmomentin, kiinnityspinnan kitkavoimaa ei huomioida ja pystysuuntainen voima  $P$  jakaantuu ruuveille leikkausvoimina  $Q_1$  ja  $Q_2$ . Koska kiinnitys koostuu vain kahdesta ruuvista, käytetään ruuviin kohdistuvina veto- ja puristusvoimina voimia  $F_1$  ja  $F_2$ .



Kuva 50. Kannakkeen vapaakappalekuva yksinkertaistetussa tilanteessa

Momenttiyhtälöstä voiman  $F_2$  vaikutuspisteen suhteen saadaan

$$F_1 \cdot r - P \cdot L = 0 \Rightarrow F_1 = \frac{L}{r} P \quad (3)$$

Oletetaan, että leikkausvoimat jakaantuvat ruuveille tasan, jolloin saadaan

$$Q_1 = Q_2 = \frac{1}{2} P \quad (4)$$

Sovelletaan standardin SFS-EN 1993-1-8 eurokoodi 3 liitosten mitoitusperiaatteita ruuvien voimien laskennassa. Tämän standardin taulukon 3.4 mukaan yksittäiseen ruuvi-kiinnikkeeseen kohdistuvan yhdistetyn leikkaus- ja vetovoiman pitää täyttää ehto

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (5)$$

missä

$F_{v,Ed}$  on ruuvien leikkausvoiman mitoitusarvo murtorajatilassa

$F_{v,Rd}$  on ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$F_{t,Ed}$  on ruuvien vetovoiman mitoitusarvo murtorajatilassa ja

$F_{t,Rd}$  on ruuvien vetokestävyyden mitoitusarvo. [48, s. 28.]

Oletetaan, että leikkausvoima vaikuttaa ruuvien kierteen alueella, jolloin ruuvien leikkauskestävyys ruuvien leikettä kohti on

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (6)$$

ja ruuvien vetokestävyys on

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (7)$$

joissa

$\alpha_v$  on kerroin, joka on 0,6 lujuusluokan 8.8 ruuveille

$f_{ub}$  on ruuvien vetomurtolujuus, joka on 800 N/mm<sup>2</sup> lujuusluokan 8.8 ruuveille

$A_s$  on ruuvien jännityspoikkipinta-ala, joka on M8 ruuveille 36,6 mm<sup>2</sup>

$k_2$  on kerroin, joka on 0,9 muille kuin uppokantaisille ruuveille

$\gamma_{M2}$  on ruuviliitoksen osavarmuusluku, joka on ruuvien kestävyydelle 1,25. [48, s. 19, 21 ja 28.]

Käytetään  $F_{v,Ed} = Q_1 = \frac{1}{2}P$  ja  $F_{t,Ed} = F_1 = \frac{L}{r}P$ , niin yhtälöstä 5 saadaan

$$\frac{\frac{1}{2}P}{\frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}} + \frac{\frac{L}{r}P}{1,4 \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}} \leq 1,0 \Rightarrow P \left( \frac{\gamma_{M2}}{2 \alpha_v f_{ub} A_s} + \frac{\gamma_{M2} L}{1,4 k_2 r f_{ub} A_s} \right) \leq 1,0 \quad (8)$$

Josta saadaan ruuvien kestävä kuormitus

$$P \leq \frac{f_{ub} A_s}{\gamma_{M2} \left( \frac{1}{2 \alpha_v} + \frac{L}{1,4 k_2 r} \right)} = \frac{800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 36,6 \text{ mm}^2}{1,25 \left( \frac{1}{2 \cdot 0,6} + \frac{500 \text{ mm}}{1,4 \cdot 0,9 \cdot 70 \text{ mm}} \right)} = 3,60 \text{ kN}. \quad (9)$$

Kannaketta kuormittaa staattisessa tilanteessa sen omapaino, jakotukkien paino, liittimien paino ja muoviputkista aiheutuvat kuormat. Kannakkeen omapaino on 2,2 kg, alumiinisten jakotukkien yhteispaino on 0,46 kg ja liittimien yhteispaino noin 0,6 kg. Muoviputkista aiheutuvat kuormat oletetaan niin vähäisiksi, ettei niillä ole tässä tapauksessa merkitystä. Tällöin yhteispainovoimaksi  $F_G$  saadaan

$$F_G = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (2,2 + 0,46 + 0,6) \text{ kg} = 0,032 \text{ kN}. \quad (10)$$

Kun tätä verrataan edellä laskettuun kiepahdusvoimaan, tai kiinnikkeiden kestäväseen kuormaan, voidaan varmuuden näihin nähden todeta olevan yli 100. Tehdyt oletukset, kuten kaiken painovoiman vaikuttaminen kannakkeen päässä ja negatiivisen  $a$ :n arvon sijaan käytetty arvo  $a = 0$  vähentävät saatua varmuutta, mutta toisaalta kuormaan ei myöskään lisätty osavarmuutta. Koska kannakkeeseen kohdistuvat kuormat ovat joka tapauksessa sen kestoon ja kiinnityksen tukevuuteen nähden pieniä, eikä sen pettämisestäkään aiheutuisi suurta vaaraa, ei tämän tarkempia tarkasteluja ole syytä lähteä tekemään.



## 7 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli pituusleikkurin varustelumallin kehittäminen ja tarvittavien varustelupiirustusten ja osaluetteloiden laadinta. Työssä perehdyttiin pituusleikkureihin ja niiden toimintaan. Näin oikeat asiat osattiin ottaa huomioon työn varustelusuunnittelussa ja ymmärrettiin paremmin koneiden eri toimintojen liittyminen toisiinsa. Lisäksi työssä käytiin läpi varustelusuunnitteluun liittyvien hydraulikka- ja pneumatiikkajärjestelmien perusperiaatteita. Lähtötilanteessa tutustuttiin myös vanhemman referenssikoneen varusteluaiheeseen, jonka pohjalta uusia varustelukuvia lähdettiin tekemään.

Varustelusuunnittelu aloitettiin mallintamalla hydraulikkasyylinterit niin, että ne vastasivat Base-leikkurissa käytettäviä sylintereitä. Seuraavaksi tehtiin mallinnetuille sylintereille pohjautuvat hydraulikkasyylinterien varustelumallit ja suunniteltiin uusia ratkaisuja niissä esille nousseihin asioihin. Lisäksi suunniteltiin kaksi uutta hydraulikkalohkoa ja tehtiin kaikista osista tarvittavat piirustukset ja osaluettelot. Viimeisessä vaiheessa tehtiin päivitetty rullausosan, leikkausosan ja kaapeliverkkohyllyjen varustelumallit, piirustukset ja osaluettelot. Myös näihin osioihin suunniteltiin uusia ratkaisuja tarpeen mukaan.

Työtä lähdettiin tekemään aloituspalaverissa läpikäytyjen tavoitteiden pohjalta ja työn aikana pidettiin tarpeen mukaan välitapaamisia, joissa tarkistettiin työn tilanne ja käytiin läpi tehtäviä asioita. Tapaamisten ja puhelimen lisäksi viestinnässä käytettiin runsaasti sähköpostia, jonka välityksellä vaihdettiin kysymyksiä, tietoa ja ideoita ja joita lähetettiin suuntaan ja toiseen työssä yli 400. Osaltaan viestinnän suureen määrään vaikutti pituusleikkuriin perehdyttäminen. Työn lopputuloksena laadittiin päivitetty rullaus- ja leikkausosan varustelukuvat niiden alle lukeutuvine varustelu- ja osakuvineen, joita syntyi yhteensä toistakymmentä.

Työn tuloksia on tarkoitus käyttää tulevilla Base-leikkuriprojekteissa, joista ensimmäisen varustelun hankintoja ollaan tämän työn kirjoitushetkellä jo tekemässä. Esikokoonpanossa Shanghaissa selviävät varustelujen toimivuus ja mahdolliset muutostarpeet. Valmet on mallinnusohjelmisto Catian suhteen siirtymävaiheessa V5-versiosta uuteen nk. V6 Catiaan. Tätä työtä aloitettaessa oli olemassa idea varustelujen siirtämisestä Catia V6-ympäristöön, mutta koska tähän tarvittavat letkujen ja putkistojen mallintamisen lisäosat eivät olleet vielä toimintavalmiina, päätettiin varustelujen Catia V6 -mallinnus jättää tulevaisuuteen.

Tämä Valmetille tehty insinöörityö tehtiin suureksi osaksi Insinööritoimisto Comatec Oy:n tiloissa ja ohjelmistolisensseillä, joten molemmille kuuluu kiitos tämän opettavaisen insinöörityön mahdollistamisesta. Työn tekeminen oli mielenkiintoista ja opetti paljon uusia asioita paperikoneista, pituusleikkureista ja varustelusuunnitteluun liittyvistä asioista.

## Lähteet

- 1 Valmet kotisivut. Valmet yrityksenä. <http://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/> Luettu 8.1.2018.
- 2 Valmet kotisivut. Paperit-liiketoimintalinja. <http://www.valmet.com/fi/sijoittajat/valmet-sijoituskohteena/liiketoimintalinjat/paperit/> (päivitetty 18.09.2017) Luettu 9.1.2018.
- 3 KnowPap. Paperitekniikan ja tehtaan automaation oppimisympäristö. [http://www.knowpap.com/www\\_demo/suomi/paper\\_technology/general/6\\_finishing/frame.htm](http://www.knowpap.com/www_demo/suomi/paper_technology/general/6_finishing/frame.htm) Luettu 28.12.2017.
- 4 Herbert H. 2006. Handbook of Paper and Board. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- 5 Valmet. OptiWin Drum General training material.
- 6 Häggblom-Ahnger U. & Komulainen P. 2003. Kemiallinen metsäteollisuus II, Paperin ja kartongin valmistus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- 7 Newcomb H. & Printz W. 1966. Patent US 3250483 A. Unwind or backstand for web winding apparatus.
- 8 Valmetin sisäiset valokuvat pituusleikkureista.
- 9 Valmet articles. Rick's Tips Winding principles, part 1 overview and tension. <http://www.valmet.com/media/articles/up-and-running/performance/RTWindPrin1/> Luettu 4.2.2018.
- 10 Valmet Technical Paper Series. 2011. Slitter Management. Saatavissa: [http://www.valmet.com/globalassets/media/downloads/white-papers/finishing-and-coating/wpf\\_slittermanagement.pdf](http://www.valmet.com/globalassets/media/downloads/white-papers/finishing-and-coating/wpf_slittermanagement.pdf) Luettu 4.2.2018.
- 11 Valmet, Solution Finder. Valmet Dual Web Separation Device – Pure geometry brings pure benefits – flyer. <https://valmetsites.secure.force.com/solutionfinderweb/SolutionFinderContents?productId=a015800000AoUsbAAF&material-Type=&selectedLanguage=> Luettu 10.1.2018.
- 12 Valmet articles. Rick's Tips - Winding principles, part 3 drum torque ratio. <http://www.valmet.com/media/articles/up-and-running/performance/RTWindPrin3/> Luettu 4.2.2018.
- 13 Valmet. OptiWin Drum- Two-drum base winder designed for multiple winder concepts. Esitysmateriaali.

- 14 Korhonen E. & Havumäki M. 1991. Hydrauliiikan komponenttien oppi- ja käsikirja. Jyväskylä: Teknolit Oy.
- 15 Airila M., Ekman K., Hautala P., Kivioja S., Kleimola M., Martikka H., Miettinen J., Niemi E., Ranta A., Rinkinen J., Salonen P., Verho A., Vilenius M. & Välimaa V. 1995. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: Werner Söderström Oy.
- 16 Doddannavar R. & Barnard A. 2005. Practical Hydraulic Systems, Operation and Troubleshooting for Engineers and Technicians. Oxford: Newnes.
- 17 Kothandaraman C. & Rudramoorthy R. 2013. Fluid Mechanics and Machinery. Tunbridge Wells: New Academic Science Limited.
- 18 Watton J. 2009. Fundamentals of Fluid Power Control. Cambridge University Press.
- 19 FLUID Finland. 2004. FLUID klinikka no 7. Hydrauliiikan mittauksia. Visidon arkisto. Saatavissa: <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/5.hydrauliiikan-mittauksia.pdf>.
- 20 Parker Hannifin Ltd. 2008. Industrial Tube Fittings Europe, Technical handbook/Catalogue.
- 21 SFS-EN ISO 8434-1:en (ISO 8434-1:2007). Metallic tube connections for fluid power and general use. Part 1: 24 degree cone connectors.
- 22 Parker Hannifin Ltd. 2011. Industrial Tube Fittings, Adapters and Equipment, Catalog 4300 (PDF section updated February 2017).
- 23 Parker Hannifin Ltd. Ermeto Original, Leikkuurengasliittimet, pääluettelo 4000/2000.
- 24 SFS-EN ISO 10305-4:2016. Steel tubes for precision applications. Technical delivery conditions. Part 4: Seamless cold drawn tubes for hydraulic and pneumatic power systems.
- 25 SFS-EN ISO 4413. Hydraulinen tehonsiirto. Järjestelmiä sekä niiden komponentteja koskevat yleiset periaatteet ja turvallisuusvaatimukset.
- 26 Parker Hannifin Ltd. 2017. Hose, Fittings and Equipment, Catalog 4400.
- 27 Alfagomma. Hydraulic hoses catalogue. [www.alfagomma.com/en/product/hydraulics/](http://www.alfagomma.com/en/product/hydraulics/).

- 28 Korane K. 2010. Machine Design artikkeli: Compact Spiral Hydraulic Hose is More Flexible and Lasts Longer. <http://www.machinedesign.com/archive/compact-spiral-hydraulic-hose-more-flexible-and-lasts-longer> Luettu 16.1.2018.
- 29 Manuli Hydraulics. Hoses catalogue ver. 0001.
- 30 Oinonen A. 2002. FLUID klinikka no 2. Kumiletkut ja letkuliittimet sekä niiden yleisimmät vauriot. FLUID Finland, Parker Hannifin Oy. Saatavissa: <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/4.kumiletkut-ja-letkuliittimet-seka-niiden-yleisimmat-vauriot.pdf>.
- 31 ISO 17165-1:2007. Hydraulic fluid power – Hose assemblies – Part 1: Dimensions and requirements.
- 32 ISO 17165-2:2013. Hydraulic fluid power – Hose assemblies – Part 2: Practices for hydraulic hose assemblies.
- 33 FLUID Finland. 2003. FLUID klinikka no 3. Sylinterit. Visidon arkisto. Saatavissa: <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/11.sylinterit.pdf>.
- 34 Hunt T. & Vaughan N. 1996. The Hydraulic Handbook, 9th edition. Oxford: Elsevier Advanced Technology.
- 35 Parker Hannifin Ltd. 2012. Heavy Duty Hydraulic Cylinders, Series 2H / 2HD & 3H / 3HD. Catalog.
- 36 InterOcean Advisors LLC. 2016. Hydraulic Cylinder Industry Report. [www.ioadvisors.com](http://www.ioadvisors.com).
- 37 Gannon M. 2017. How do you safely design and use hydraulic cylinders? Mobile Hydraulictips. <https://www.mobilehydraulictips.com/safely-design-use-hydraulic-cylinders/> Luettu 18.1.2018.
- 38 Paavilainen H. 2012. Hydrauliiikan luentomonisteet. Metropolia AMK.
- 39 FLUID Finland. 2003. FLUID klinikka no 6. Suuntaventtiilit. Visidon arkisto. Saatavissa: <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/10.suuntaventtiilit.pdf>.
- 40 Gupta A., Arora S. 2007. Industrial Automation and Robotics. New Delhi: Laxmi Publications Ltd.
- 41 Majumdar S. 2006. Pneumatic Systems, Principles and Maintenance. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.

- 42 aHulkkonen V. 2005. FLUID Finland. FLUID klinikka no 13. Pneumatiikan perusteita. Saatavissa: <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/9.pneumatiikan-perusteita.pdf>.
- 43 Festo. Valmistajan kotisivu. Pneumatic fittings system. [https://www.festo.com/cat/fi\\_fi/products\\_071000](https://www.festo.com/cat/fi_fi/products_071000) Luettu 6.2.2018.
- 44 Wellfittings. Toimittajan kotisivut. <https://www.wellfittings.com/> Haettu 6.2.2018.
- 45 Parker Hannifin Ltd. Parker Push-Lok Hose and Fittings.
- 46 Sun Hydraulics. Valmistajan kotisivut, cartridges. <http://www.sunhydraulics.com/models/cartridges> Haettu 27.1.2018.
- 47 Valtanen E. 2002. Tekniikan Taulukkokirja. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- 48 SFS-EN 1993-1-8. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus.